

Statische und dynamische Sonografie der mimischen Muskulatur bei Patienten mit M. Parkinson

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae (Dr. med.)

Vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Anne Heinzl

geboren am 08.02.1994 in Gera

Gutachter

1. Prof. Dr. Orlando Guntinas-Lichius, Jena
2. PD Dr. Tino Prell, Jena
3. apl. Prof. Dr. Andreas Müller, Gera

Tag der Öffentlichen Verteidigung 17.04.2018

Examen 23.11.2018

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
1. Einleitung.....	3
1.1 M. Parkinson.....	3
1.1.1 Ätiologie	3
1.1.2 Klinik.....	3
1.1.3 Verlauf.....	6
1.1.4 Therapie	6
1.2 Mimische Muskulatur und Kaumuskulatur	6
1.3 Sonografie der mimischen Muskulatur und Kaumuskulatur	9
2. Ziele der Arbeit	12
3. Material und Methoden	14
3.1 Auswahl des Ultraschallgeräts	14
3.2 Preset – Voreinstellung am Ultraschallgerät.....	14
3.3 Kalibrierung.....	15
3.4 Untersuchungsparameter.....	17
3.5 Auswahl der einzelnen mimischen Muskeln und Untersuchungsablauf	18
3.6 Standardisierung von Helligkeit und Kontrast.....	21
3.7 Quantifizierung der Videosequenzen	23
3.8 Fallzahlplanung.....	25
3.9 Interobserver-Reliabilität und Intraobserver-Reliabilität bei gesunden Probanden.....	25
3.10 Patienten.....	27
3.11 Untersuchungsprotokoll für die Patienten.....	28
3.12 Statistische Auswertung	29
4. Ergebnisse.....	31
4.1 Reliabilität	31
4.1.1 Intraobserver Reliabilität.....	31
4.1.2 Interobserver Reliabilität.....	32
4.2 Muskelgrößen	36
4.2.1 Seitenvergleich	36
4.2.2 Seitenvergleich bei Patienten mit klinischer Seitenbetonung	38
4.2.3 Geschlechtsunterschiede der Muskelgrößen	42
4.2.4 Vergleich der Muskelgrößen und Dynamik mit Referenzwerten.....	45
4.3 Grauwerte	49
4.4 Korrelation	51
4.4.1 Korrelation mit biometrischen Merkmalen.....	51

4.4.2	Korrelation mit klinischen Parametern	53
5.	Diskussion	56
5.1	Sonografie der mimischen Muskulatur und Kaumuskulatur	56
5.2	Untersuchungsablauf	58
5.3	Standardisierung von Helligkeit und Kontrast	59
5.4	Messmethodik zur Quantifizierung der Videosequenzen	62
5.5	Statistik	63
5.6	Intra- und Interobserver-Reliabilität	64
5.7	Muskelgrößen und Grauwerte bei Patienten mit klinischer Seitenbetonung	68
5.8	Geschlechtsspezifische Unterschiede und Vergleich mit Referenzwerten	70
5.9	Vergleich der Patientenergebnisse mit den Referenzwerten gesunder Probanden	71
5.10	Grauwerte	74
5.11	Korrelationen	76
5.11.1	Korrelation der Muskelgröße mit den biometrischen Merkmalen der Patienten...	76
5.11.2	Korrelation der Muskelgröße mit den klinischen Parametern der Patienten	78
6.	Schlussfolgerungen	80
7.	Quellenverzeichnis	81
8.	Anhang	86
8.1	Danksagung	86
8.2	Ehrenwörtliche Erklärung	87
8.3	Aufklärungsbogen	88

Abkürzungsverzeichnis

CT	Computertomografie	Ncl.	Nucleus
DA	Dopamin	PET	Positronenemissions- tomografie
EMG	Elektromyografie	px	Pixel
fMRT	funktionelle Magnet- resonanztomografie	px ²	Quadratpixel
GABA	γ-Aminobuttersäure	re	rechts
GPe	Globus pallidus externus	RM	Rückenmark
GPi	Globus pallidus internus	SNpc	Substantia nigra pars compacta
H&Y	Hoehn und Yahr Skala	SNpr	Substantia nigra pars reticulata
li	links	TGC	Time Gain Compensation
MHz	Megahertz	TI	Thermischer Index
MI	Mechanischer Index	UPDRS	Unified Parkinson's Disease Rating Scale
MRT	Magnetresonanz- tomografie		
n	Anzahl		

Zusammenfassung

Die Sonografie als schnittbildgebendes Verfahren wird zunehmend in der Diagnostik neuromuskulärer Erkrankungen eingesetzt. Erste Darstellungen der mimischen Muskulatur bei Patienten mit peripherer Fazialisparese gelangen 1988, ohne dass dies damals weiter verfolgt wurde. Durch den technischen Fortschritt und damit der Verbesserung der Ultraschalltechnik konnten durch hochauflösende Schallköpfe weitere Muskeln vermessen werden. Eine Arbeitsgruppe in der Universitäts-HNO-Klinik in Jena konnte dann erstmals 2012 ein Protokoll zur Sonografie der mimischen Muskulatur erstellen. Auf dessen Grundlagen wurden Referenzwerte bezüglich Muskelgröße und Kontraktilität bei gesunden Probanden erhoben. Ebenfalls wurden erstmals die Veränderungen der mimischen Muskulatur von Patienten mit peripherer Fazialisparese untersucht. Dieses Protokoll bildete die Grundlage für die vorliegende Arbeit. Es sollte überprüft werden, ob das Protokoll auf andere neurologische Erkrankungen mit Beteiligung der mimischen Muskulatur übertragbar ist. Da die Hypomimie ein charakteristisches Symptom für den M. Parkinson darstellt und es gegenwärtig in der Literatur keine sonografischen Untersuchungen zur mimischen Muskulatur bei Patienten mit M. Parkinson gibt, sollten mögliche Veränderungen der mimischen Muskulatur objektiviert werden.

Zunächst wurden das bereits vorhandene Protokoll sowie das Preset des Ultraschallgerätes an den Untersuchungsablauf angepasst. Anschließend fanden Reliabilitätsuntersuchungen bei gesunden Probanden im Abstand von 14 Tagen statt, um die Reproduzierbarkeit der Messungen zu überprüfen. Es fanden sich sowohl gute Interobserver-Reliabilitäten im Median von 0.866 für die Muskelquerschnittflächen als auch gute Intraobserver-Reliabilitäten im Median von 0.909 für die Muskelquerschnittflächen. Danach folgte die Untersuchung von 38 Patienten mit idiopathischem Parkinsonsyndrom. Es wurden 7 mimische Muskeln sowie 2 Kaumuskeln in das Protokoll aufgenommen und hinsichtlich Muskelgröße, Kontraktilität und Echointensität untersucht. Weder bei der Betrachtung aller 38 Patienten gemeinsam noch bei der gesonderten Betrachtung der Patienten mit klinischer Seitenbetonung der Erkrankung zeigten sich signifikante Seitenunterschiede. Dagegen zeigten sich geschlechtsspezifische Unterschiede. Die Männer hatten überwiegend signifikant größere Muskeln als die Frauen. Für die Kontraktilität zeigten sich keine signifikanten Geschlechtsunterschiede. Anschließend wurden die Ergebnisse mit den Referenzwerten der gesunden Probanden verglichen.

Die signifikant unterschiedlichen Muskelquerschnittflächen waren in Ruhe im Vergleich zu den Referenzwerten gesunder Probanden bei den Frauen im Durchschnitt $11,25 \text{ mm}^2$ kleiner und bei den Männern $14,67 \text{ mm}^2$ kleiner. In Kontraktion bei den Frauen durchschnittlich $23,47 \text{ mm}^2$ kleiner und bei den Männern $27,31 \text{ mm}^2$ kleiner. Die Kontraktilität war bei den Frauen im Schnitt $33,12\%$ schlechter gegenüber gesunden Probanden und bei den Männern $36,67\%$ schlechter gegenüber gesunden Probanden. Bei der Korrelation der Muskelparameter mit den biometrischen und klinischen Parametern der Patienten zeigten sich sehr heterogene Ergebnisse. Lediglich für das Gewicht ($r_s=0,552-0,716$), den BMI ($r_s=0,544-0,666$) und den bizygomatischen Abstand bei den Männern ($r_s=0,524-0,743$) zeigten sich teilweise geringe bis starke signifikante Korrelationen.

Es konnte gezeigt werden, dass das Protokoll auf Patienten mit M. Parkinson übertragbar ist und dass sich Veränderungen der mimischen Muskulatur nachweisen lassen. Insbesondere die Bradykinese als Kardinalsymptom der Erkrankung lässt sich in Form der verminderten Kontraktilität abbilden. Die Sonografie als nicht-invasives und kostengünstiges Verfahren könnte so zukünftig genutzt werden, um die Veränderungen unter einer bestimmten Therapie oder die Einstellung der Medikamente zu objektivieren.

1. Einleitung

1.1 M. Parkinson

Das Idiopathische Parkinsonsyndrom ist eine multisystemische, neurodegenerative Erkrankung und eine der häufigsten Bewegungsstörungen. Durch den Untergang nigrostriataler, dopaminergener Neurone ist die Erkrankung klinisch durch eine verlangsamte und verminderte Beweglichkeit gekennzeichnet (Poewe et al. 2017, Postuma et al. 2015).

1.1.1 Ätiologie

Neuropathologisch findet sich neben dem Verlust der dopaminergen Neurone vor allem die intrazelluläre Akkumulation von α -Synuclein (Poewe et al. 2017). Diese Ablagerungen treten in verschiedenen Regionen des Gehirns auf. Nach ihrem Auftreten können Stadien nach Braak unterschieden werden. Initial finden sich Ablagerungen im Bereich der Medulla oblongata (Stadium 1) sowie im Tegmentum (Stadium 2). Später treten zusätzlich Läsionen im Bereich des Mittelhirns auf, vor allem innerhalb der Pars compacta der Substantia nigra (Stadium 3). Folgend entstehen Ablagerungen im Bereich des Prosencephalon (Stadium 4) bis letztendlich der Neocortex (Stadium 5 und 6) betroffen ist (Braak et al. 2003).

1.1.2 Klinik

Klinisch definiert wird das Parkinsonsyndrom durch die Bradykinese und das Auftreten mindestens eines weiteren Kardinalsymptoms, das heißt Rigor und/oder Tremor (Postuma et al. 2015).

Für die Bradykinese existieren verschiedene Definitionen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die allgemein akzeptierte Definition der International Parkinson and Movement Disorder Society genutzt, wonach Bradykinese als langsame Initiierung von Bewegung und verminderte Amplitude sowie Geschwindigkeit in den Tappingversuchen definiert wird (Postuma et al. 2015).

Die Bradykinese entsteht durch eine Kombination aus verminderter Aktivierung des Agonisten und exzessiver Co-Kontraktion des Antagonisten während einer Bewegung (Hallett und Khoshbin 1980, Hayashi et al. 1988). Insbesondere bei selbst-initiierten und bewusst ausgeführten, aber auch bei spontanen Bewegungen kommt die Bradykinese zum Ausdruck (Freeman et al. 1993, Bowers et al. 2006). Zusätzlich verstärkt wird diese Beeinträchtigung, wenn die visuelle Rückmeldung über die Bewegung entfällt, das heißt wenn die sich bewegende Körperpartie nicht

gesehen werden kann (Klockgether und Dichgans 1994). Dies hängt möglicherweise damit zusammen, dass die Basalganglien vor allem in Handlungsmuster involviert sind, die bewusst initiiert und ohne visuelle Kontrolle sind. Daneben könnte auch von Bedeutung sein, dass die Patienten mit M. Parkinson einen erhöhten Bedarf an Rückmeldung jeglicher Art besitzen, um ihre Defizite kompensieren zu können (Mink 1996).

Ein besonderes und für diese Arbeit wichtiges klinisches Zeichen ist die Hypomimie, die eine Reduktion oder den Verlust der Mimik und des Ausdrucks von Emotionen bezeichnet. Die ist vergesellschaftet mit dem Symptom der Bradykinese, wohingegen Rigor und Tremor das Gesicht kaum beeinflussen (Jankovic 2008, Bologna et al. 2013, Berardelli et al. 2001). Die Bewegungen des oberen Teils des Gesichtes im Bereich der Augen sind in der Zeit zwischen Augenschluss und Augenöffnen beeinträchtigt, aber in Amplitude und Geschwindigkeit nahezu normal. Hingegen sind Amplitude und Geschwindigkeit orofazialer Willkürbewegungen deutlich eingeschränkt. Vor allem das Lächeln ist erschwert (Caligiuri 1987, Agostino et al. 2008). Dies führt dazu, dass Patienten mit M. Parkinson häufig missverstanden und negativ bewertet werden (Ellgring et al. 1993, Pentland et al. 1988). Durch das maskenhafte Gesicht scheint ein Desinteresse an der Umwelt vorzuliegen. So ergeben sich für die Patienten Probleme im Bereich der sozialen Interaktion sowie im Aufbau und Erhalt zwischenmenschlicher Beziehungen und damit negative Effekte auf die Lebensqualität (Katsikitis und Pilowsky 1996).

In der Literatur werden verschiedene Komponenten der Hypomimie diskutiert. Durch die Einschränkung unwillkürlicher Bewegungen, wie z.B. das Zwinkern, ergibt sich die Vermittlung über eine Dysfunktion der Basalganglien im Sinne der Bradykinese und die Darstellung als rein motorisches Problem (Agostino et al. 2008, Bologna et al. 2013). Der lineare Zusammenhang des Zwinkerns mit dem Fortgang der nigrostriatalen dopaminergen Degeneration stärkt diese Darstellung (Karson 1983). Während folglich unter dopaminerger Therapie eine Verbesserung der fazialen Motilität beobachtet wird, soll eine Tiefenhirnstimulation des Ncl. subthalamicus als chirurgisch etablierte Intervention eher zu einer Verschlechterung der Motilität führen. Allerdings wird vermutet, dass eine Demaskierung der Symptome durch postoperative Reduktion der dopaminergen Medikation erfolgt (Umemura et al. 2008, Weiss et al. 2010, Bologna et al. 2012). Neben der motorischen Komponente der Hypomimie vermuten andere Autoren einen Einfluss von Depression, eine

Beeinträchtigung der Wahrnehmung von Emotionen sowie eine kognitive Beeinträchtigung insgesamt und eine Degeneration im Bereich der Amygdala (Katsikitis und Pilowsky 1991, Simons et al. 2004, Herrera et al. 2011, Harding et al. 2002).

Die Hypomimie zeigt sich meist bilateral und symmetrisch. In einer Studie mit 209 Patienten mit M. Parkinson konnten in 5% der Fälle eine Seitenbetonung, d.h. eine Hemihypomimie gezeigt werden. Dafür wurden die Patienten von drei Neurologen klinisch untersucht, d.h. die Patienten wurden aufgefordert, verschiedene Bewegungen auszuführen, z.B. zu lächeln oder die Augen zusammenzukneifen. Eine Hemihypomimie wurde diagnostiziert, wenn alle drei Untersucher eine verminderte Aktivität des M. orbicularis oculi und des M. orbicularis oris feststellten. Eine Hemihypomimie fand sich in 10 von 11 Fällen ipsilateral zu der am Körper klinisch stärker betroffenen Seite. Alle 10 Patienten wiesen ein rechtsbetontes Parkinsonsyndrom auf, nur ein Patient wies ein linksbetontes Parkinsonsyndrom auf. Trotz alledem zeigte sich die Hemihypomimie in allen Fällen rechtsbetont (Ozekmekci et al. 2007). In zahlreichen Studien an gesunden Probanden und Patienten zeigte sich aber auch, dass die faziale Motilität geschlechtsunabhängig nicht symmetrisch ist und meist das linke Gesicht mehr Aktivität aufweist als das rechte Gesicht. Die verwendeten Untersuchungstechniken beinhalteten meist die subjektive Beurteilung der Patienten selbst oder von Videos oder Bildern der Patienten während der Ausführung bestimmter Bewegungen durch geschulte oder ungeschulte Untersucher. (Borod et al. 1986, Borod et al. 1988, Sackeim et al. 1978, Sackeim und Gur 1978). In einer anderen Studie wurde anhand der Elektromyografie (EMG) eine asymmetrische Aktivität der Gesichtsseiten beurteilt (Schwartz et al. 1979). Dagegen konnte der Effekt der Lateralisierung in einer Metaanalyse mit funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT) und Positronenemissionstomografie (PET) nicht bestätigt werden (Wager et al. 2003). Auch bei sonografischen Referenzwerten von Muskeldicke, Muskelquerschnittfläche und Kontraktilität der mimischen Muskulatur bei gesunden Probanden wurden die jeweiligen Muskelparameter beider Gesichtshälften aufgrund von Gleichheit im Äquivalenztest zusammengefasst (Volk 2014a). In der Studie zur Hemihypomimie von Ozekmekci et al. zeigte sich zusätzlich, dass der untere Teil des Gesichtes mit der Mundpartie stärker betroffen war, als der obere Anteil des Gesichtes. Dies spiegelt die bilaterale corticale Innervation des oberen Anteils des Gesichtes wider. Insgesamt ist die

Hemihypomimie aber selten und tritt v.a. bei frühem Beginn der Erkrankung und erst kurzer Erkrankungsdauer auf (Ozekmekci et al. 2007).

1.1.3 Verlauf

Neben den motorischen Kardinalsymptomen sind viele Patienten auch von nicht-motorischen Symptomen betroffen. Diese können verschiedene Funktionsbereiche einschließen. Es kann zum Beispiel zu Beeinträchtigung des Schlafverhaltens (Insomnie, Tagesmüdigkeit) sowie von kognitiven und autonomen Funktionen kommen. Auch das Auftreten von Hyposmie oder Depressionen wird beobachtet. Einige dieser Symptome können bereits Jahre vor der Diagnose eines Parkinsonsyndroms als Prodromalstadium auftreten (Berg et al. 2015). Die Diagnose erfolgt dann meist nach dem Auftreten erster motorischer Symptome in der Frühphase der Erkrankung. Im Verlauf werden die nicht-motorischen Symptome prominenter. Auch die Beeinträchtigung durch die Kardinalsymptome nimmt zu. Durch die Therapie mit L-Dopa kommt es zunehmend zu Wirkungsfluktuationen und Dyskinesien. In der Spätphase der Erkrankung entwickeln sich Symptome, die schlecht auf die dopaminerge Therapie ansprechen, wie zum Beispiel die Dysphagie (Postuma et al. 2015, Poewe et al. 2017).

1.1.4 Therapie

Der M. Parkinson ist assoziiert mit dem Untergang dopaminerger Neurone in der Substantia nigra pars compacta (Hornykiewicz 1966). Daraus ergibt sich als Ansatzpunkt zur pharmakologischen Therapie der motorischen Symptome die Substitution von Dopamin. Eine nicht-dopaminerge Therapie adressiert neben den motorischen Symptomen zugleich auch die nicht-motorischen Symptome (Poewe et al. 2017). Zur Objektivierung des Therapieerfolgs wird in der klinischen Praxis der MDS-UPDRS III zur Erfassung der motorischen Symptome genutzt (Goetz et al. 2007). Die Sonografie der mimischen Muskulatur könnte ergänzend dazu zur Objektivierung der Krankheitsaktivität sowie zur Überwachung der Therapie eingesetzt werden.

1.2 Mimische Muskulatur und Kaumuskulatur

Nach der Nomina anatomica setzt sich die Gesamtheit der mimischen Muskulatur aus 23 verschiedenen Muskeln zusammen (International Anatomical Nomenclature Committee and International Congress of Anatomists 1989). Embryologisch ist die mimische Muskulatur Derivat des zweiten Pharyngealbogens und breitet sich im

Tabelle 1: Übersicht über die mimische Muskulatur nach (Zilles 2010)

7

Einleitung

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
	Crista lacrimalis des Os lacrimale Ansatz Canaliculi lacrimales in die Pars palpebralis	A. supratrochlearis der A. ophthalmica	Tränenflusses, Abfluss der Tränenflüssigkeit
Muskeln im Bereich des Mundes			
M. orbicularis oris	Ursprung Jugum alveolare des oberen und des unteren Eckzahnes Ansatz Haut der Ober- und Unterlippe	Innervation <ul style="list-style-type: none"> Rr. zygomatici des N. facialis im Bereich der Oberlippe Rr. buccales des N. facialis im Bereich des Mundwinkels R. marginalis mandibulae des N. facialis im Bereich der Unterlippe Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> Aa. labiales superior und inferior der A. facialis 	Gesamter Muskel: Verengen und Schließen der Mundöffnung, Erzeugen der Lippenspannung Alleinige Kontraktion der Pars marginalis: Einziehen des Lippenrotanteils nach innen Alleinige Kontraktion des Pars labialis: Vorwölben der Lippen
M. zygomaticus major	Ursprung Os zygomaticum vor der Sutura zygomaticotemporalis Ansatz Haut des Mundwinkels und der Oberlippe	Innervation <ul style="list-style-type: none"> Rr. zygomatici des N. facialis Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> A. zygomaticoorbitalis der A. temporalis superficialis Äste der A. facialis 	Anheben des Mundwinkels nach außen-oben, Vertiefung der Nasolabialfurchung und der Lidfurchung
M. depressor anguli oris (M. triangularis)	Ursprung Basis mandibulae vom Tuberculum mentale bis zum Jugum alveolare des ersten Molaren Ansatz Haut des Mundwinkels, Modiolus anguli oris	Innervation <ul style="list-style-type: none"> Rr. buccales des N. facialis variabel: R. marginalis mandibulae Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> Äste der A. facialis A. labialis inferior der A. facialis 	Zug des Mundwinkels nach unten
M. depressor labii inferioris (M. quadratus inferioris)	Ursprung Basis mandibulae unterhalb des Foramen mentale (Verbindung zum Platysma) Ansatz Haut und Schleimhaut der Unterlippe, Haut des Kinnwulstes, M. orbicularis oris	Innervation <ul style="list-style-type: none"> R. marginalis mandibulae des N. facialis Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> A. labialis inferior der A. facialis 	Zug der Unterlippe nach unten-lateral, Vorwölbung des Lippenrotes
M. mentalis	Ursprung Jugum alveolare des seitlichen Schneidezahnes der Mandibula Ansatz Haut des Kinns	Innervation <ul style="list-style-type: none"> R. marginalis mandibulae des N. facialis Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> A. labialis inferior der A. facialis 	Verschieben der Haut des Kinns nach oben

Anders als die mimische Muskulatur wird die Kaumuskulatur durch den N. trigeminus innerviert. Als Skelettmuskulatur besitzen die Kaumuskeln eine Faszie sowie einen direkten Ansatz und Ursprung am Knochen. Sie dient der Bewegung des Oberkiefers gegenüber dem Unterkiefer. **Tabelle 2** zeigt einen Überblick über die in der vorliegenden Arbeit untersuchte Kaumuskulatur.

Tabelle 2: Übersicht über die Kaumuskulatur nach (Zilles 2010)

Muskel	Ursprung / Ansatz	Innervation /	Funktion
M. masseter	<p>Ursprung Pars profunda: Facies temporalis und Innenseite des Proc. temporalis des Os zygomaticum Pars superficialis: Facies lateralis und Proc. temporalis des Os zygomaticum</p> <p>Ansatz Pars profunda: Ramus mandibulae bis zur Basis des Proc. coronoideus und des Proc. condylaris Pars superficialis: Tuberositas masseterica an der außenfläche des Angulus mandibulae</p>	<p>Innervation</p> <ul style="list-style-type: none"> N. massetericus des N. mandibularis aus dem N. trigeminus <p>Blutversorgung</p> <ul style="list-style-type: none"> A. masseterica der A. maxillaris A. facialis A. transversa faciei der A. temporalis superficialis A. buccales der A. maxillaris 	Kräftiges Heben (Adduktion) des Unterkiefers, Unterstützung der Protrusion des Unterkiefers
M. temporalis	<p>Ursprung Linea temporalis inferior der Facies externa des Os parietale und der Facies temporalis des Os frontale, Pars squamosa des Os temporale, Facies temporalis des Os zygomaticum, Facies temporalis des Os sphenoidale bis zur Crista infratemporalis Ansatz Proc. coronoideus der Mandibula bis in das Trigonum retromolare</p>	<p>Innervation</p> <ul style="list-style-type: none"> Nn. temporales profundi des N. mandibularis aus dem N. trigeminus <p>Blutversorgung</p> <ul style="list-style-type: none"> Aa. temporales profundae anterior und posterior der A. maxillaris A. temporalis media der A. temporalis superficialis 	<p>beidseitig: kräftiges Heben (Adduktion des Unterkiefers, Retrusion des Unterkiefers, Unterstützung der Protrusion (vorderer Anteil)) einseitig: Stabilisierung des Caput mandibulae, Verlagerung des Caput mandibulae nach vorn und Drehung zur kontralateralen Seite</p>

1.3 Sonografie der mimischen Muskulatur und Kaumuskulatur

Seit den 1950er Jahren findet die Sonografie Anwendung in der Medizin (Pillen und van Alfen 2011). Als viel verwendete Technik zur Bildgebung bietet die Sonografie Vorteile gegenüber MRT und CT. Neben der Möglichkeit zur statischen und dynamischen Beurteilung der Muskulatur, ist die Sonografie patientenfreundlich und flexibel einsetzbar (Smith und Finnoff 2009, Peetrons 2002). Als nicht-invasive Technik dient die Sonografie der Vorhersage des Vorliegens einer neuromuskulären Erkrankung und der Beobachtung fortschreitender pathologischer Prozesse (Arts et

al. 2008). Dabei werden Echointensität und Muskeldicke bei progressiven neuromuskulären Erkrankungen durch Atrophie und Infiltration durch Fett- und Bindegewebe zunehmend abnormal (Scholten et al. 2003, Pillen et al. 2009b, Heckmatt et al. 1982, Reimers et al. 1996). Im klinischen Alltag wird zur Darstellung der strukturellen Veränderungen vornehmlich das B-Mode-Bild genutzt (Delcker et al. 1999). Grundsätzlich sollte die Sonografie von Muskulatur im Seitenvergleich und mit Bezug auf Landmarken unter konstanter Schallkopfposition erfolgen (Walker et al. 1990).

Die erste Darstellung der mimischen Muskulatur gelang 1988 einer Arbeitsgruppe in Wien. Es wurden Veränderungen von Muskeldicke und Echogenität bei Patienten mit Fazialisparese beschrieben. Durch technische Limitationen der damaligen Ultraschallgeräte konnten schallkopfnahе Strukturen allerdings nur schwer beurteilt werden (Balogh et al. 1988). Vor dem Hintergrund des technischen Fortschritts konnten in den letzten Jahren einzelne Muskeln dargestellt und teilweise quantifiziert werden. Dazu gehören die circumorale Muskulatur, der M. orbicularis oculi, der M. levator labii superioris et inferioris sowie der M. zygomaticus major (Vinkka-Puhakka et al. 1989, Satioglu et al. 2005, McAlister et al. 1998). Die Kaumuskulatur wurde als Gegenstand zahlreicher orthodontischer Studien dargestellt und quantifiziert (Kiliaridis et al. 2010, Kiliaridis und Kalebo 1991, Raadsheer et al. 2004, Rani und Ravi 2010). Trotz des technischen Fortschritts gelangte die Sonografie als Methode zur Darstellung der mimischen Muskulatur an ihre Grenzen. Da die Sonografie nur morphologische Änderungen der Muskulatur untersucht, die Folge von Denervierung oder Reinnervation sind, kann die Sonografie im Vergleich zur EMG eine leichte Denervierung oder Reinnervation nur schwer aufdecken (Walker et al. 1990). Andererseits können chronisch denervierte Muskeln durch Ultraschall beurteilt werden. Es wird die extensive Atrophie und die erhöhte Echogenität des Muskels sichtbar, die mit der fehlenden Innervation korrespondiert (Walker und Macdonald 2012). Die komplette sonografische Darstellung aller mimischen Muskulatur blieb aber vorerst aus (Frühwald 1988, McAlister et al. 1998).

Erst 2012 wurden durch zwei Arbeitsgruppen Ultraschallprotokolle zur Sonografie der mimischen Muskulatur erstellt (Alfen 2013, Volk 2013). Durch die Fazialis-Arbeitsgruppe der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena konnten im Folgenden geschlechtsspezifische Referenzbereiche der mimischen Muskulatur und Daten zur sonografischen

Diagnostik der peripheren Fazialisparese veröffentlicht werden (Volk et al. 2016, Volk 2014b, Volk 2014a, Sauer et al. 2016).

Bei Untersuchungen zum M. Parkinson stand die mimische Muskulatur selten im Mittelpunkt von Studien. Nach aktuellem Kenntnisstand war die mimische Muskulatur bei Patienten mit M. Parkinson noch nie Gegenstand sonografischer Untersuchungen. Zusätzlich war das Ziel der bisherigen Studien zur mimischen Muskulatur bei M. Parkinson nicht die Beschreibung deren Morphologie, sondern der Nachweis einer Hemihypomimie, eines Defizits in der Wahrnehmung von Emotionen oder der aus der Hypomimie entstehenden Beeinträchtigungen im sozialen Bereich. Dabei unterlag die Beurteilung der Hypomimie meist der subjektiven Beurteilung des Gesichtsausdrucks des Patienten durch einen Beobachter (Borod et al. 1986, Borod et al. 1988, Sackeim et al. 1978, Sackeim und Gur 1978, Schwartz et al. 1979, Argaud et al. 2016, Katsikitis und Pilowsky 1996).

2. Ziele der Arbeit

Zielstellung der vorliegenden Arbeit war es ein bereits etabliertes Untersuchungsprotokoll zur Sonografie der mimischen Muskulatur, das zur Diagnostik und Verlaufskontrolle bei Patienten mit peripherer Fazialisparese eingesetzt wird, auf Patienten mit M. Parkinson zu übertragen. Es sollte erfasst werden, ob morphologische Veränderungen der mimischen Muskulatur bei Patienten mit idiopathischem Parkinsonsyndrom durch die Sonografie darstellbar sind und wie sich die Art der Änderungen verschiedener Muskelparameter im Vergleich zu Referenzwerten gesunder Probanden darstellt (Volk 2014a).

Zunächst sollten auf der Grundlage eines bereits vorhandenen Untersuchungsprotokolls die Auswahl der Muskeln und die Voreinstellungen am Ultraschallgerät an die veränderten Voraussetzungen und die Zielstellung der Arbeit angepasst werden (Volk 2013). Danach sollte in Reliabilitätsmessungen die Reproduzierbarkeit der Methodik sowie der Einfluss des Zeitintervalls zwischen den einzelnen Messungen überprüft werden.

Mit dem angepassten und einheitlichen Untersuchungsprotokoll sollten dann nach statistischer Fallzahlplanung die statischen und dynamischen Eigenschaften der ausgewählten Kennmuskeln an mindestens 37 Patienten mit idiopathischem Parkinsonsyndrom erfasst werden, um sie mit den geschlechtsspezifischen Referenzwerten 140 gesunder Probanden vergleichen zu können (Volk 2014a). Zu den erhobenen Muskelparametern sollten Muskeldicke, Muskelquerschnittfläche, Kontraktilität sowie der Grauwert gehören. Dabei sollte zunächst festgestellt werden, ob sich die grundlegenden geschlechtsspezifischen Unterschiede im Bereich der Muskeldynamik und Muskelquerschnittfläche bei den Patienten ähnlich darstellen, wie bei den gesunden Probanden. Vor allem sollte aber überprüft werden, ob sich die Bradykinese als charakteristisches Symptom der Erkrankung in der Kontraktilität oder Muskelquerschnittfläche widerspiegelt und wie groß die Veränderungen im Vergleich zu den gesunden Probanden sind. Es sollte festgestellt werden, ob sich eine Inaktivitätsatrophie der mimischen Muskulatur nachweisen lässt.

Weiterhin sollte überprüft werden, ob sich bei Patienten mit klinischer Seitenbetonung der Symptome Unterschiede zwischen den Muskelparametern der beiden Gesichtshälften ergeben.

Außerdem sollte der Einfluss verschiedener biometrischer Merkmale wie Größe, Gewicht oder Maße des Gesichts (Länge, Breite) sowie klinischer Parameter

(Schwere der Erkrankung) untersucht werden.

Vor diesem Hintergrund sollte abschließend bewertet werden, ob sich die Methode eignet, um Veränderungen der mimischen Muskulatur bei Patienten mit M. Parkinson darzustellen und welche Möglichkeiten sich hinsichtlich Diagnostik und Erfolgskontrolle einer Behandlung daraus ergeben.

3. Material und Methoden

Für die Studie lag ein positives Ethikvotum der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät an der Friedrich-Schiller-Universität Jena vor. Vor Beginn der Messungen wurden alle Probanden und Patienten detailliert über den Untersuchungsablauf, mögliche Risiken und die Verwendung der erhobenen Daten aufgeklärt. Es lag die schriftliche Einverständniserklärung aller untersuchten Probanden und Patienten vor. Ein Muster des Aufklärungsbogens befindet sich im Anhang 8.4.

3.1 Auswahl des Ultraschallgeräts

Die Sonografie der mimischen Muskulatur sollte sich weitestgehend nach dem etablierten Untersuchungsprotokoll richten (Sauer 2013). Für die Studie wurden ausschließlich stationäre Patienten der Klinik für Neurologie des Universitätsklinikums Jena rekrutiert. Daher war die Verwendung des stationären Sonografiegeräts HD11 XE (Philips, Eindhoven, Niederlande), dass für die bisherigen Studien zur mimischen Muskulatur in der Klinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Jena verwendet wurde, aufgrund der räumlichen Trennung der beiden Kliniken, nicht möglich (Wystub 2012, Sauer 2013). Stattdessen wurde das portable Sonografiegerät eZono 4000 (eZono, Jena, Deutschland) gewählt, das flexibel auf der neurologischen Station einsetzbar war. Hierfür musste der Untersuchungsablauf, das Untersuchungsprotokoll sowie die Voreinstellungen am Sonografiegerät (Preset) neu angepasst werden. Auch eine neue Quantifizierungssoftware musste erprobt werden, da die bisher verwendete Software ausschließlich Philips-Datensätze lesen und auswerten konnte.

3.2 Preset – Voreinstellung am Ultraschallgerät

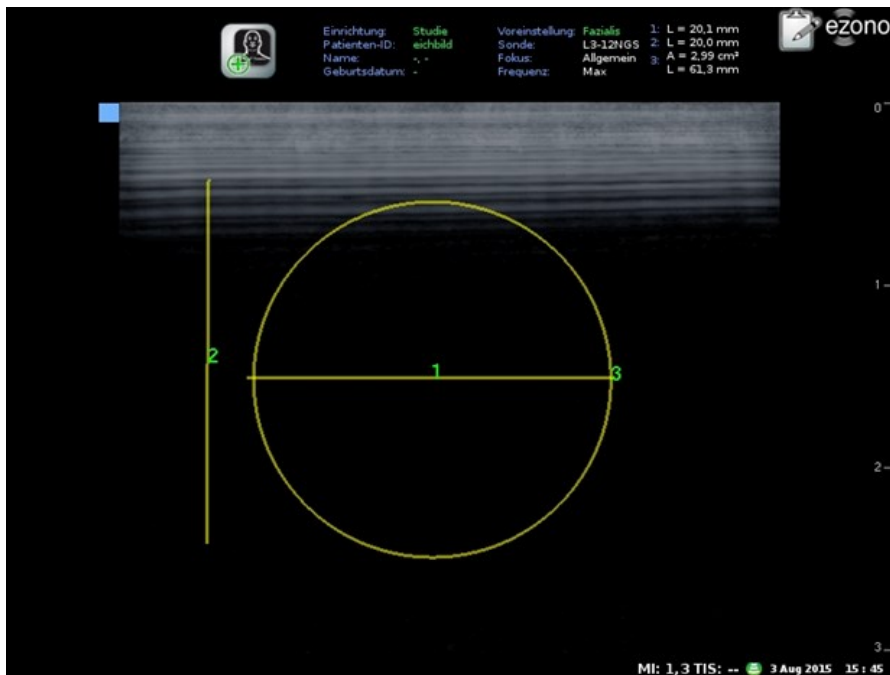
Um ein möglichst optimales Bild mit dem eZono 4000 erreichen zu können, das mit der Bildqualität des stationären Ultraschallgerät HD11 XE (Philips, Eindhoven, Niederlande) vergleichbar war, wurden verschiedene Voreinstellungen getestet. Danach wurde ein standardisiertes Preset programmiert und im Ultraschallgerät gespeichert. Genutzt wurde ein 3-12 MHz Linearschallkopf (L 3-12) mit einer Eindringtiefe von 2,5 cm und einem thermischen Index TIS von 1,3, mehreren Foci unter neutraler TGC (Time gain compensation, Tiefenausgleich) mit der Einstellung „high probe frequency“ (high quality) und ohne „image smoothing“. Dieses Preset wurde für alle weiteren Messungen an den Patienten verwendet und während der Messungen nicht geändert.

3.3 Kalibrierung

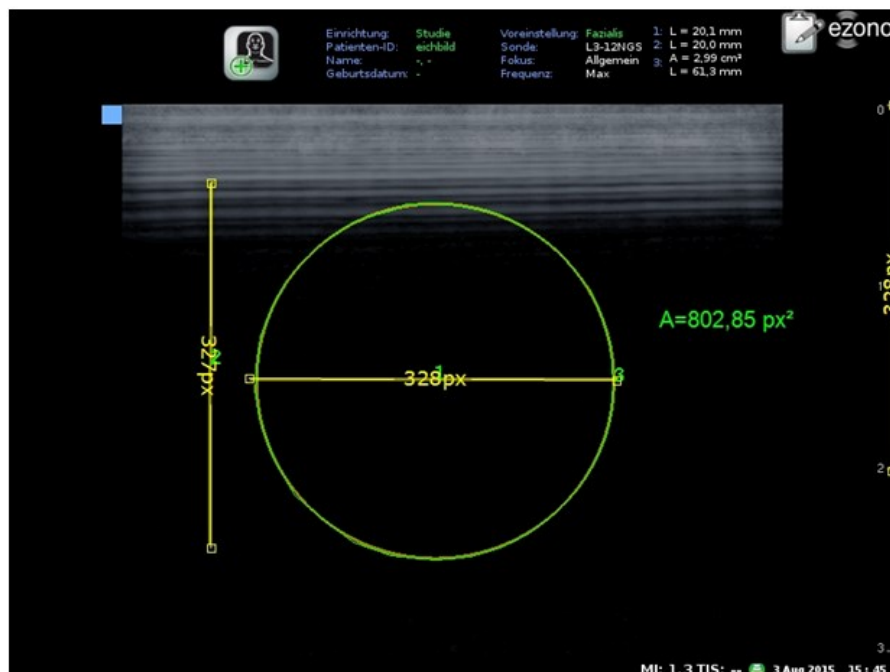
Das verwendete Ultraschallgerät enthielt keine Informationen zur Distanzmessung im Header exportierter Dateien. Das heißt, alle Flächen wurden in Quadratpixel (px^2) angegeben, alle einfachen Distanzen in Pixel (px) durch die Quantifizierungssoftware Sante DICOM Editor 3D (Santesoft medical imaging since 1999, Athen, Griechenland) ausgegeben. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, mussten die px Angaben in Quadratmillimeter (mm^2) bzw. Millimeter (mm) umgerechnet werden. Dazu wurde ein Eichbild erstellt (**Abbildung 1**). Dieses enthielt einen Kreis definierter Größe sowie zwei gerade Strecken definierter Länge. Die Strecken sowie der Kreis wurden am Ultraschallgerät erstellt und dann mittels der Quantifizierungssoftware von zwei Untersuchern (T.S., A.H.) unabhängig voneinander manuell segmentiert. Eine dritte Strecke verlief entlang des Zentimetermaßes am Bildrand.

Abbildung 1: am Sonografiegerät eZono 4000 (eZono, Jena, Deutschland) erstelltes Eichbild

- a) Eichbild ohne Segmentierung; oben rechts sind die Längen (mm) der Strecken bzw. der Inhalt der Kreisfläche (cm²) durch das Sonografiegerät vorgegeben
b) Beispielsegmentierung des Eichbildes



a)



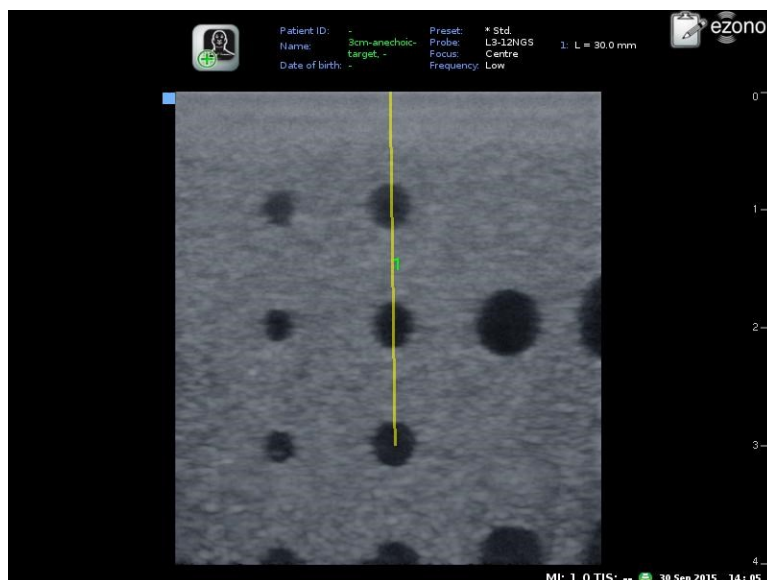
b)

Es wurde ein Mittelwert aus den Längenmessungen gebildet und dann durch die definierte Länge in mm dividiert. Das heißt auf 20 mm wurden im Schnitt 327,16 px gemessen. Daraus ergeben sich 16,35 px auf 1 mm. Daher wurden im Folgenden alle px Angaben mit 16 dividiert, um auf die richtige mm Angabe zu kommen. Quadriert man den genauen Bruch (1/16,35) kommt man auf einen Faktor von

0,00374 um px^2 in cm^2 umrechnen zu können. Die ausgegebene Zahl für die Kreisfläche beträgt 802,5 px^2 . Mit dem Faktor multipliziert sind dies 3,00 cm^2 . Die definierte Größe des Kreises beträgt 2,99 cm^2 . D.h. um in mm^2 umzurechnen lautet der Faktor 0,3740. Die umgerechneten Werte sind nur gerundet, da die Faktoren gerundet sind und nicht mit dem exakten Bruch gerechnet wurde. Das heißt es entsteht ein Rundungsfehler, der umso größer wird, je größer die Zahl ist. Man müsste also mittels der exakten Brüche umrechnen. Die Software zur Auswertung Sante DICOM Editor 3D (Santesoft medical imaging since 1999, Athen, Griechenland) kann nur auf 1 px genau messen (ca. 0,06 mm), so dass entschieden wurde, die Umrechnungsfaktoren auf vier Kommastellen genau anzuwenden, da eine größere Genauigkeit schon allein durch die Software zur Auswertung nicht erreicht werden kann. Um die Messungen nochmals zu validieren, wurde eine Gegenprüfung anhand eines Bildes aus einem Kalibrierphantom (eZono, Jena, Deutschland) erstellt (**Abbildung 2**). Hier konnten die Faktoren nochmals bestätigt werden.

Abbildung 2: am Kalibrierphantom (eZono, Jena, Deutschland) erstelltes Kalibrierbild

Die Zentren der schwarzen Kreise liegen jeweils einen Zentimeter auseinander. Das Zentrum der obersten Kreise befindet sich einen Zentimeter vom oberen Bildrand entfernt. So können definierte Flächen oder Strecken vermessen werden. Die Länge L der mit 1 bezeichneten Strecke beträgt 30 mm (rechter oberer Bildrand).



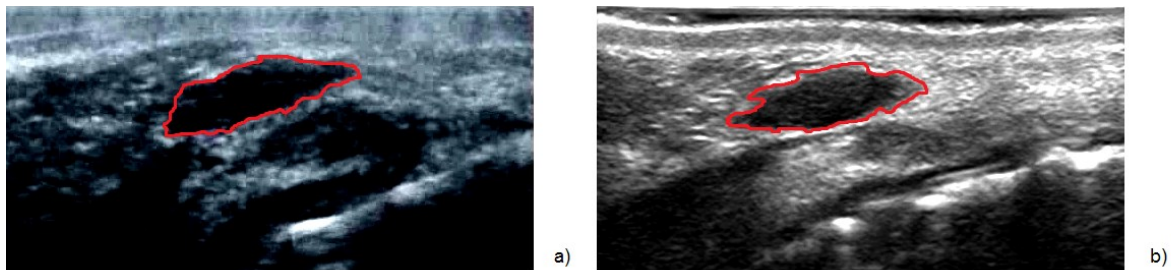
3.4 Untersuchungsparameter

Für alle Untersuchungen wurde ein portables Ultraschallgerät eZono 4000 (eZono, Jena, Deutschland) mit einem Linearschallkopf (L 3-12, eZono, Jena, Deutschland) mit einer Frequenz zwischen 3 und 12 MHz verwendet. Im Vergleich zu dem oben genannten stationären Ultraschallgerät ließ sich eine vergleichbar gute Bildqualität

herstellen (**Abbildung 3**). Einzig eine deutliche Unschärfe im Nahbereich bei dem portablen Gerät wurde durch einen besonders dicken Film von Ultraschallgel als Vorlaufstrecke ausgeglichen.

Abbildung 3: Vergleich der Bildqualität der beiden Sonografiegeräte Beide Bilder zeigen den Querschnitt des M. depressor anguli oris (rote Umrandung) der linken Gesichtsseite. Die Bilder wurden mit zwei verschiedenen Sonografiegeräten aufgenommen.

a) eZono 4000, eZono, Deutschland; b) HD11 XE, Philips, Niederlande



Die einzelnen Muskeln sollten nicht nur in Ruhe vermessen werden, sondern auch in maximaler Kontraktion. Dazu wurden Sonografie-Videos erstellt. Bei der Videoaufnahme musste manuell gestartet und gestoppt werden. Es gab also keine vordefinierten Videolängen. Aufgrund der Dauer der Ausführung der einzelnen Bewegungen lag die Dauer der Videosequenzen zwischen 15 und 20 s. Durch eine lange Aufnahmezeit sollte zudem sichergestellt werden, dass eine Kontraktion nicht etwa aufgrund zu kurzer Aufnahmedauer nicht übersehen wurde.

3.5 Auswahl der einzelnen mimischen Muskeln und Untersuchungsablauf

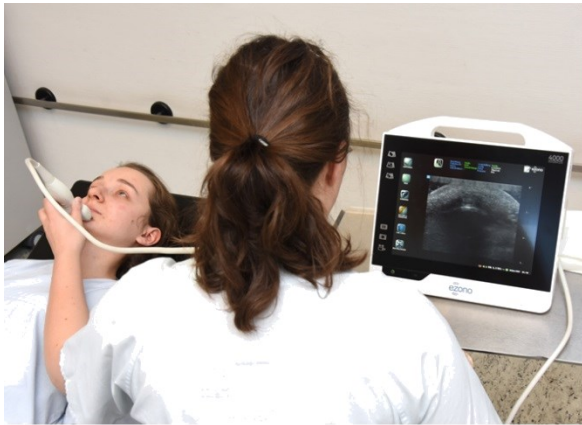
Im Hinblick auf die Zielsetzung der Arbeit die Fläche der mimischen Muskeln in Ruhe und Kontraktion sowie die Kontraktilität der mimischen Muskulatur bei Patienten mit M. Parkinson mit den Referenzwerten gesunder Probanden zu vergleichen, wurde eine Vorauswahl verschiedener Muskeln getroffen, deren sonografische Darstellung reproduzierbar möglich war. Entscheidend war, dass die Muskeln relevant für den Ausdruck der Grundemotionen (Freude, Trauer, Angst, Wut, Überraschung und Ekel) waren. Eine Reihe von mimischen Muskeln lassen sich im Ultraschall gut reproduzierbar darstellen. Für folgende mimische Muskeln wurden Referenzwerte für die Muskelgrößen in Ruhe und Kontraktion veröffentlicht: M. mentalis, M. depressor anguli oris, M. depressor labii inferioris, M. zygomaticus major, M. orbicularis oculi, M. frontalis, M. orbicularis oris sowie für die zwei Kaumuskeln M. masseter und M. temporalis (Volk 2014a). Da der Vergleich der Veränderungen der mimischen Muskulatur innerhalb verschiedener Erkrankungen mit den

Referenzwerten gesunder Probanden schwierig sein kann, sollten Muskeln gefunden werden, die keinen oder nur sehr geringen krankheitsbedingten Veränderungen unterliegen. Diese Muskeln könnten als Maß zur Abschätzung der Veränderungen der betroffenen Muskulatur und somit als Kontrollmuskeln dienen (Volk 2014a). Es sollte evaluiert werden, ob sich die Kaumuskulatur auch bei Patienten mit M. Parkinson als Referenzmuskulatur eignet. Des Weiteren wurde vorerst der M. corrugator supercilii zum Protokoll hinzugefügt, um die Emotion Wut besser abbilden zu können. Auch die Kennarterien aus dem bereits vorhandenen Protokoll A. fazialis, A. temporalis profunda anterior und A. labialis superior wurden zu Beginn als Landmarken zur zweifelsfreien Identifizierung der richtigen Position des Schallkopfes verwendet (Sauer 2013). Im Laufe der Einarbeitungsphase zeigten sich einige Details, auf die es zu achten galt. Geschallt wurde mit der linken Hand, mit der rechten Hand wurde das Ultraschallgerät bedient, der Untersucher saß an der linken Seite des Patienten. Wenn die rechte Gesichtsseite, also die vom Untersucher entferntere Seite geschallt wurde, musste insbesondere darauf geachtet werden, dass der Schallkopf im rechten Winkel zur Haut aufgesetzt wurde. Andernfalls wäre der Muskel in einem nicht reproduzierbaren stumpferen Winkel angeschnitten worden und so die Vergleichbarkeit der beiden Gesichtshälften nicht sichergestellt worden. Außerdem durfte kein Druck ausgeübt werden, um die Muskulatur nicht bzw. so wenig wie möglich zu komprimieren. Auch die richtige Schallebene zu finden, war auf der vom Untersucher entfernteren Seite schwieriger. Umso wichtiger war es, die richtige Sitzposition zu finden und den Probanden Anweisungen zu geben, wie beispielsweise der Kopf gedreht werden sollte. Auch die richtige Ausführung der Zielbewegungen war wichtig, um die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Bilder und Videos sowie der gemessenen Parameter zu gewährleisten. Die auszuführenden Bewegungen wurden im Vorfeld der Messungen ausführlich erläutert, demonstriert und soweit möglich von den Patienten geübt. Einigen Patienten fiel es schwer, die Bewegungen zielgerichtet auszuführen, so dass ein Spiegel zum Üben genutzt werden konnte. Durch das visuelle Feedback gelangen die Bewegungen meist exakter. **Abbildung 4** zeigt die Situation während einer Ultraschalluntersuchung.

Abbildung 4: Situation während einer sonografischen Untersuchung der mimischen Muskulatur

linkes Bild: Der Untersucher sitzt auf der linken Seite des Patienten, das Sonografiegerät eZono 4000 (eZono, Deutschland) wird mit der rechten Hand bedient, geschallt wird mit der linken Hand.

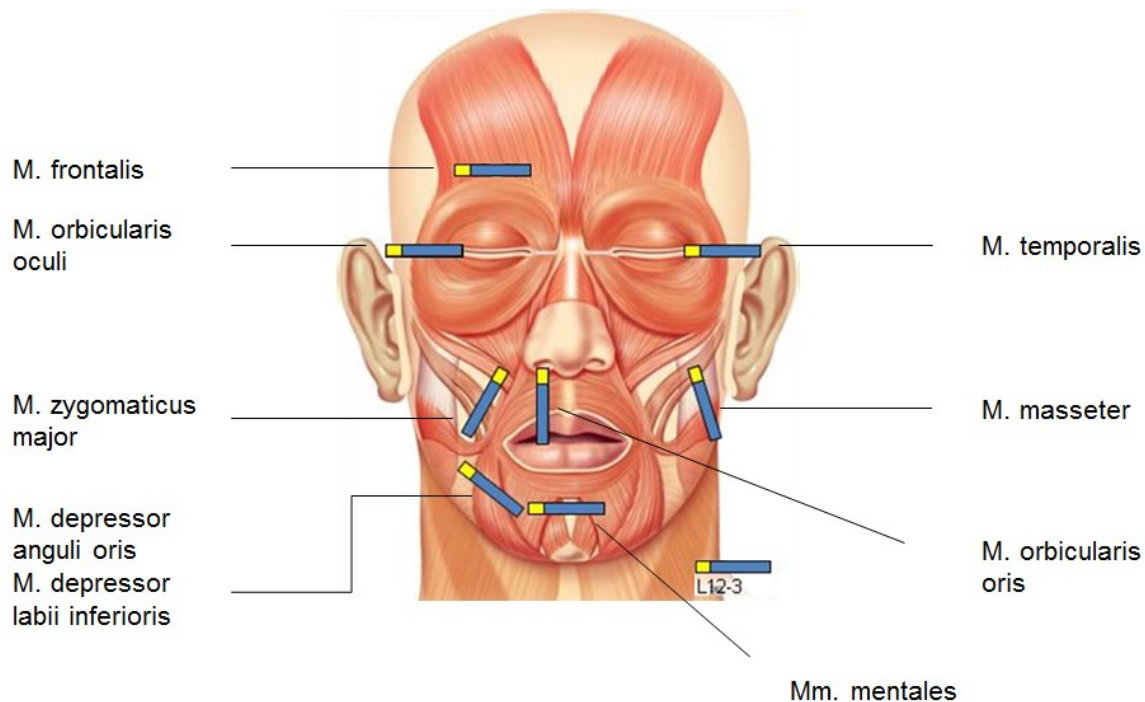
rechtes Bild: Ein Ausschnitt wurde herausvergrößert. Der Schallkopf wird möglichst im rechten Winkel zur Haut aufgesetzt, ein ausreichend dicker Film des Ultraschallgels dient als Vorlaufstrecke.



Des Weiteren wurden die Voreinstellungen am Ultraschallgerät (Preset) sowie der gesamte Untersuchungsablauf vor Beginn der eigentlichen Patientenmessungen stetig verbessert. So konnten alle aufgezählten Muskeln zuverlässig dargestellt werden. Einzig der *M. corrugator supercilii* wurde aus dem Protokoll wieder herausgenommen. Es zeigte sich, dass der Muskel häufig durch Muskelfasern benachbarter Muskulatur überlagert wurde. Zudem konnten oft nicht beide Seiten im selben Bild dargestellt werden. Auch die Arterien wurden nicht wie im Protokoll von Maik Sauer vermessen (Sauer 2013). Zwar ließen sie sich gut darstellen, wurden aber durch zahlreiche andere Landmarken überflüssig. Am Ende der Einarbeitungsphase wurde ein optimiertes Untersuchungsprotokoll festgelegt, nach welchem alle Probanden und Patienten standardisiert geschallt wurden. **Abbildung 5** zeigt die verschiedenen Positionen des Schallkopfes. Eine ausführliche Anleitung zur Sonografie der mimischen Muskulatur findet sich im Anhang 8.5.

Abbildung 5: Übersicht der Positionen des Ultraschallkopfes bei den neun ausgewählten Muskeln

(Bild: J. Geiling, Institut für Anatomie I, Universitätsklinikum Jena); blaues Rechteck: Ultraschallkopf, die gelbe Markierung entspricht dem Marker zur richtigen Orientierung am Schallkopf



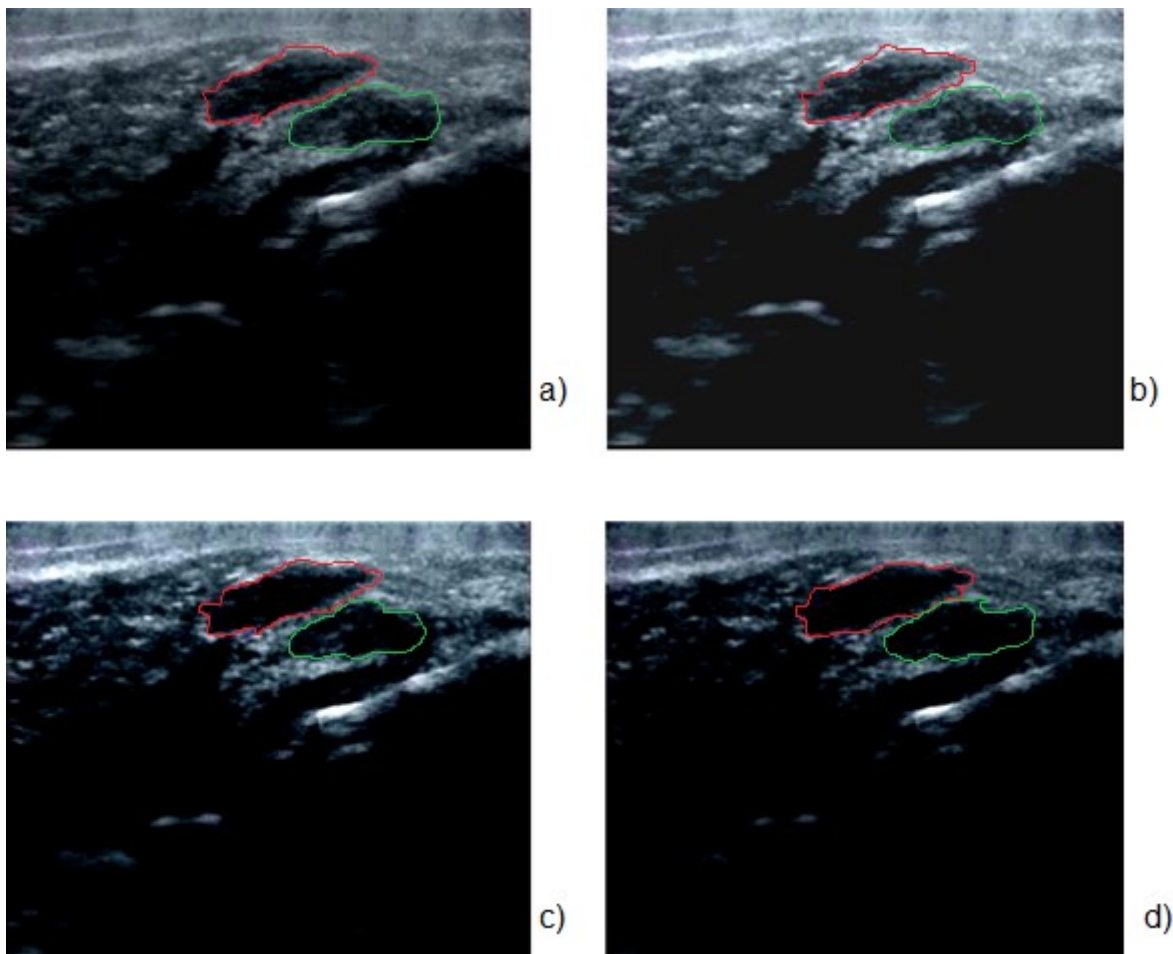
3.6 Standardisierung von Helligkeit und Kontrast

Die mimische Muskulatur besitzt im Gegensatz zu Skelettmuskulatur keine Faszie, wodurch die exakte Abgrenzung der Muskeln miteinander schwierig sein kann (Freiling et al. 1990). Um den Muskel zuverlässig vom umliegenden Gewebe abgrenzen zu können, musste im Vorfeld der Auswertung Helligkeit und Kontrast angepasst werden. Bisher gab es keine Möglichkeiten Helligkeit und Kontrast so zu standardisieren, dass sie allgemein gültig waren und damit eine Vergleichbarkeit gewährleisten. Es musste bisher für jeden einzelnen Muskel empirisch ein solches Preset festgelegt werden. Dafür gab es unter dem Befehl Options/Level-Window-Presets bereits von der Softwarefirma (Santesoft Medical Imaging Software since 1999, Athen, Griechenland) vordefinierte Einstellungen. Zunächst wurde die Einstellung „US-Low Contrast“ verwendet. Das Level war hier mit 155, Window mit 240 angegeben. Die Skala reicht von 155 bis 256, aus der Level und Window berechnet werden können. Im Folgenden zeigte sich aber, dass diese Einstellung nicht für alle Muskeln angewendet werden konnte. Es wurde daher weiter an den Einstellungen optimiert. Es wurde ein Preset mit den Werten Level 110 und Window 130 erstellt, von dem ausgehend Anpassungen an jeden Muskel vorgenommen

wurden. Da sich in der Quantifizierungssoftware zwar wie oben beschrieben die Möglichkeit eines Presets für den Kontrast, nicht aber für die Helligkeit bot, sondern die Helligkeit mit einem Schieberegler ohne numerische Werte manuell eingestellt wurde, konnte dieser Prozess nicht standardisiert werden. Somit ist eine Vergleichbarkeit der verschiedenen mimischen Muskeln untereinander als kritisch anzusehen. Allerdings war vor allem entscheidend, dass bei den Muskelpaaren der beiden Gesichtshälften, und die wurden als Zielstellung miteinander verglichen, ein und dasselbe Preset zu Helligkeit und Kontrast verwendet wurde und dieses nach Beginn der Auswertung auch nicht mehr verändert wurde. **Abbildung 6** illustriert die verschiedenen Einstellungen von Helligkeit und Kontrast.

Abbildung 6: Veränderung von Helligkeit und Kontrast zur optimalen Beurteilung der Muskelgrenzen

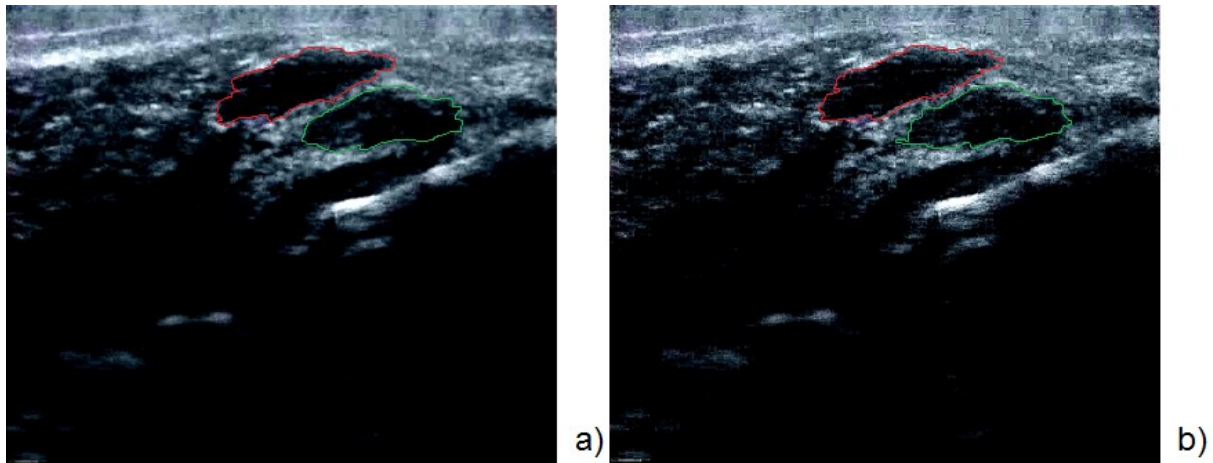
Bild a) zeigt einen am eZono 4000 (eZono, Jena, Deutschland) erstellten Querschnitt des M. depressor anguli oris (rot) und M. depressor labii inferioris (grün) der linken Gesichtseite ohne Veränderung von Helligkeit und Kontrast. Bild b) zeigt die Anwendung des vorgefertigten Presets der Software zur Auswertung Sante DICOM Editor 3D (Santesoft medical imaging since 1999, Athen, Griechenland). Auf dem Bild c) wurde das eigens erstellte Preset verwendet und danach die Helligkeit individuell korrigiert (Bild d).



Um das Bild weiter zu optimieren, wurden verschiedene Effekte ausprobiert. Aber auch Modifikationen wie „sharpen“, „sharpen more“ oder diverse Filter führten nicht dazu, dass eine scharfe Grenze zwischen den einzelnen Muskeln und dem umliegenden Gewebe bestimmt werden konnte (**Abbildung 7**).

Abbildung 7: Anwendung von Filtern am sonografischen Bild

Die am eZono 4000 (eZono, Jena, Deutschland) erstellten Bilder zeigen den Querschnitt des M. depressor anguli oris (rot) und M. depressor labii inferioris (grün) der linken Gesichtsseite. Es wurden zwei verschiedene Filter angewendet. a) sharpen; b) sharpen more



3.7 Quantifizierung der Videosequenzen

Um die erstellten Bilder und Videos in Bezug auf die Muskelfläche in Ruhe und Kontraktion sowie die maximalen Längs- und Querdurchmesser auswerten zu können, konnte nicht die in den bisherigen Studien verwendete proprietäre Software QLab 8.1 (Philips, Eindhoven, Niederlande) genutzt werden, sondern es musste eine neue Software zur Quantifizierung der Bilder und Videos erprobt werden, die auch fremde DICOM-Ultraschalldaten interpretieren kann (Volk 2013, Volk 2014a). Diese musste eine Möglichkeit haben, die Videos, die ausschließlich als Videoclip im avi-Format erstellt wurden, in ein DICOM-Format umzuwandeln. Außerdem mussten die entsprechenden Messwerkzeuge und ein effektiver Arbeitsablauf gewährleistet werden. Als geeignete Software zur Auswertung der DICOM-Daten fand sich der Sante DICOM Editor 3D (64-bit) (Santesoft Medical Imaging Software since 1999, Athen, Griechenland). Die erstellten Ultraschallbilder wurden im DICOM-Format und die Videos im avi-Format von dem eZono 4000 Ultraschallgerät auf einen USB-Stick übertragen. Anschließend wurden die Videos in der Software zur Auswertung geladen und über die Felder File/Batch in ein DICOM-Format konvertiert. Nach Konvertierung wurde das Video zunächst in voller Länge angeschaut. Dabei wurde

ein Abschnitt bestimmt, in dem sowohl der Muskel in Ruhe als auch in maximaler Kontraktion gut sichtbar und mit den wichtigsten Landmarken zu sehen war. Die Nutzung einer zusammenhängenden Videosequenz zur Segmentierung der Muskeln statt Nutzung der einzelnen erstellten Fotos in Ruhe und maximaler Kontraktion hatte den Vorteil, dass davon auszugehen war, dass der Schallkopf während der Messung nicht verrutscht war und wirklich ein Ausgangszustand und ein Endzustand zu sehen war, die direkt aufeinander folgten. Nachdem eine Sequenz ausgewählt worden war, wurde ein Preset in der Software zur Auswertung für Helligkeit und Kontrast festgelegt, welches sowohl für den Muskel in Ruhe als auch in Kontraktion beibehalten wurde. Danach wurde zunächst die Muskelquerschnittfläche bestimmt. Dazu musste die Grenze zwischen Muskel und umliegenden Gewebe bestimmt und der Muskel komplett umfahren werden. Dies erfolgte manuell. Getestet wurde das „Free-hand tool“ und das „Rectangle tool“. Da es mit der „Free-hand“ Funktion nicht möglich war, während der Segmentierung abzusetzen und z.B. näher heran zu zoomen um die exakte Grenze festzulegen, wurde sich für die Verwendung der „Rectangle“-Funktion entschieden. Danach wurde über die Funktion „Keep selection“ und „Kept selection Info“ die Fläche gespeichert und die Informationen abgerufen. Neben der Muskelquerschnittfläche in px^2 konnten auch der minimale, maximale und durchschnittliche Grauwert erhalten werden. Anschließend wurde mit dem „Measure Distance Tool“ der größte Längsdurchmesser und Querdurchmesser bestimmt. Dazu wurde zunächst der größte Durchmesser in Kontraktion bestimmt und danach an ein und derselben Stelle der Durchmesser in Ruhe. Im Laufe der Erprobungsphase zeigte sich, dass es zwischen verschiedenen Untersuchern große Unterschiede in der Interpretation der Konvention größter Durchmesser gab. So wurde die bereits bestehende Anleitung zur Sonografie der mimischen Muskulatur um eine detailliertere Anleitung zur Segmentierung erweitert, in der genau festgelegt wird, wo die Durchmesser anzusetzen sind. Die Anleitung befindet sich im Anhang 8.5. Um einen effektiven Arbeitsablauf zu gewährleisten, wurde die Toolbar im Kopf des Programmes so verändert, dass alle benötigten Befehle integriert wurden. So konnte wesentlich schneller gearbeitet werden. Da es keine Möglichkeit gab, die ausgegebenen Daten schnell und unkompliziert zu speichern, mussten alle Werte direkt in eine Excel-Tabelle zur Datensammlung übertragen werden. Die Segmentierung konnte so im Nachhinein nicht nochmal genau nachvollzogen werden.

3.8 Fallzahlplanung

In einer vorangegangenen Studie der Arbeitsgruppe wurden Referenzwerte für die Muskelgrößen anhand gesunder Probanden erstellt (Volk 2014a). Diese sollten als Kontrollgruppe für die geplante Studie fungieren und bestand aus 140 gesunden Probanden. In einer Studie an Patienten mit Fazialisparese wurden für Durchmesser und Querschnittfläche verschiedener Gesichtsmuskeln signifikante Unterschiede zwischen der gelähmten und der gesunden Seite in der Größenordnung von 0,56 bis 1,1 Standardabweichungen gefunden (Volk 2014b). In der vorliegenden Arbeit sollten Unterschiede zwischen gesunden Probanden und Parkinson-Patienten mit einer standardisierten Effektstärke von $\geq 0,55$ Standardabweichungen mit einer Power von mindestens 80% entdeckt werden können. Die Fallzahlkalkulation erfolgte zunächst für den t-Test für zwei unabhängige Stichproben. Dieser Test ergab eine Power von 82%, um einen Unterschied zwischen den beiden Gruppen von 0,55 Standardabweichungen auf dem Signifikanzniveau von 5% zu entdecken, wenn 133 gesunde Personen (Kontrollgruppe) mit 35 Parkinson-Patienten verglichen werden (nQuery-Advisor 6.0, Statsols Europe HQ Statistical Solutions Ltd., Cork, Ireland). Auf Grund der Verteilungseigenschaften der zu vergleichenden Messwerte wurde der statistische Vergleich mittels Mann-Whitney U-Test durchgeführt, der eine Effizienz von 95% gegenüber dem t-Test besitzt. Unter Berücksichtigung der geringeren Effizienz des Mann-Whitney U-Tests wurde festgelegt, dass die aus 140 gesunden Personen bestehende Kontrollgruppe mit 37 Parkinson-Patienten verglichen werden sollte.

3.9 Interobserver-Reliabilität und Intraobserver-Reliabilität bei gesunden

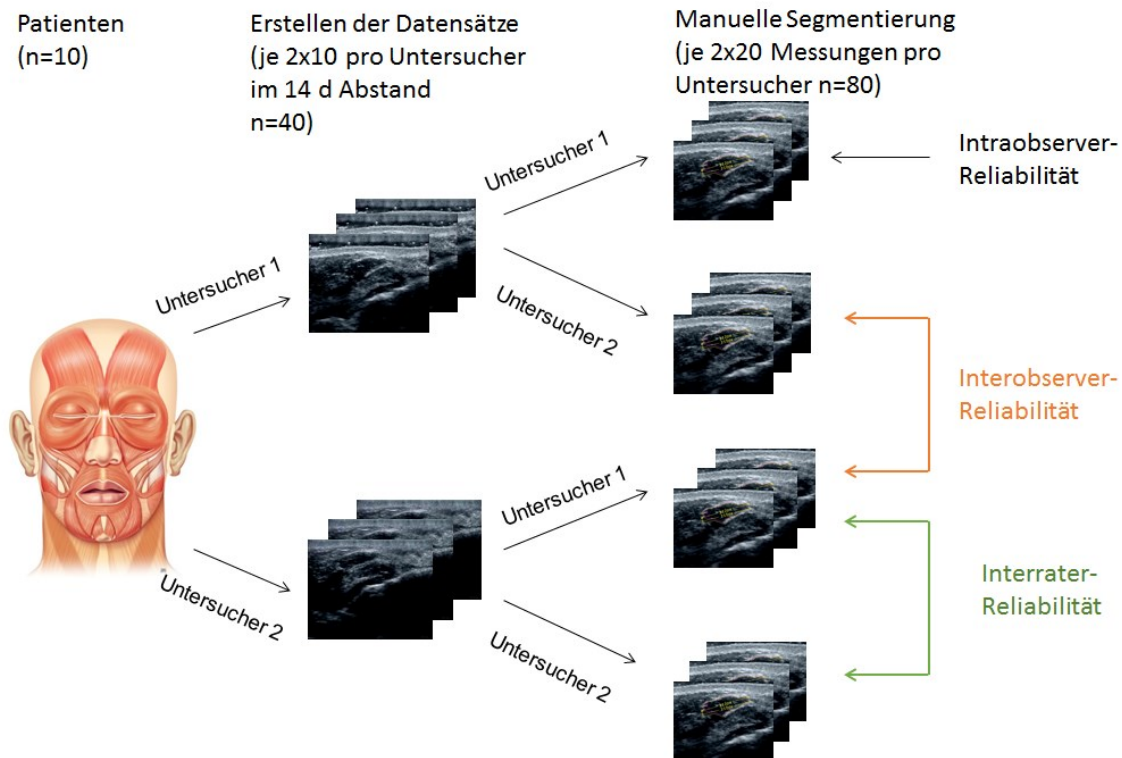
Probanden

Um die Reproduzierbarkeit der Ultraschall-Messungen zu überprüfen, wurde im Vorfeld der Patientenmessungen eine Reliabilitätsmessung durchgeführt. Betrachtet wurde die Übereinstimmung der Messergebnisse zwischen zwei verschiedenen Untersuchern (Interobserver-Reliabilität) und zwischen den Wiederholungsmessungen eines einzelnen Untersuchers (Intraobserver-Reliabilität). Bestimmt wurde der Intra-Klassen-Koeffizient (Intra-Class-Correlation-Coeffizient; ICC). Dafür wurden zehn gesunde Probanden im Alter zwischen 21 und 27 Jahre vermessen, davon fünf weibliche und fünf männliche Probanden. Es wurden je zwei Messungen im Abstand von 14 Tagen durch die zwei verschiedenen Untersucher durchgeführt, sodass 40 verwertbare Messungen entstanden. Je zwei vollständige

Messungen eines Probanden, eine jedes Untersuchers, fanden an einem Tag statt. Ein Untersucher durfte den anderen dabei nicht beobachten, um sich die Position des Schallkopfes nicht merken zu können und damit die Ergebnisse zu verfälschen. Dies war auch der Grund, weshalb zusätzlich zur Messung der Reliabilität innerhalb eines Tages auch ein Zeitintervall von 14 Tagen zwischen den einzelnen Messungen gewählt wurde. Satiroglu erwähnt, dass kurze Zeitintervalle den ICC verbessern, da sich der Untersucher die Schallkopfposition und die Schallebene merken konnte (Satiroglu et al. 2005). Die Ergebnisse der ICCs in den unterschiedlichen Zeitintervallen sollten vergleichend gegenübergestellt werden. Zusätzlich wurden nicht nur die Messungen eines Tages verglichen, sondern die einzelnen Messungen im zwei Wochen Abstand. So entstanden 20 paarige Messungen im jeweiligen Zeitintervall, die zur Auswertung hinzugezogen werden konnten, obwohl nur zehn verschiedene Probanden geschallt wurden. **Abbildung 8** veranschaulicht schematisch, wie die Datensätze entstanden und verglichen wurden. Durch den Aufbau der Reliabilitätsmessungen und die resultierende Anzahl der Messungen entstand eine weitere Fragestellung, unter welcher die Ergebnisse betrachtet werden konnten. Es sollte der Einfluss der Segmentierung auf die ICCs dargestellt werden (Schüler 2016). Dazu wurden ein und dieselben Bilder von beiden Untersuchern segmentiert. Dies führt dazu, dass der Fehler, der durch die Erstellung des Ultraschallbildes entsteht, entfällt. So kann isoliert die Segmentierung betrachtet werden und Rückschlüsse auf Verbesserungsbedarf bei der standardisierten Sonografie oder der Segmentierung gezogen werden.

Abbildung 8: Schema zur Entstehung der Datensätze und der unterschiedlichen Reliabilitätsmessungen

Die 10 Probanden wurden je zwei Mal im Abstand von zwei Wochen durch beide Untersucher sonografiert. Danach wurden jeweils alle entstandenen Messungen durch die beiden Untersucher manuell ausgewertet. Die Anzahl n beschreibt die Gesamtzahl der vorliegenden Datensätze nach jedem Arbeitsschritt.



3.10 Patienten

Das Patientenkollektiv setzte sich aus insgesamt 38 Patienten zusammen, davon 20 Männer und 18 Frauen. Sie wurden ausgewählt aus Patienten, die stationär im Parkinson-Komplex-Programm der Klinik für Neurologie am Universitätsklinikum Jena behandelt wurden. Dadurch lagen bei allen Patienten aktuelle Scores zum Schweregrad der Erkrankung vor. Neben der Unified Parkinson's Disease Rating Scale der Movement Disorder Society (MDS-UPDRS), wurde auch die Hoehn und Yahr Skala erfasst. Der MDS-UPDRS ist ein Score, in dem in 4 verschiedenen Teilen anhand unterschiedlicher Items Punktwerte ermittelt werden, die die Krankheitsschwere im motorischen und nichtmotorischen Bereichen erfassen. Die Patienten wurden im medikamentösen ON untersucht. Neben klinischen Symptomen, die die Motorik betreffen (MDS-UPDRS III), werden auch kognitive Funktion, Verhalten und Stimmung (MDS-UPDRS I), Aktivitäten des täglichen Lebens (MDS-UPDRS II) sowie Komplikationen / Dyskinesien der Behandlung erfasst (MDS-UPDRS IV). Im motorischen Teil des Scores sind die Items, bei denen es möglich ist,

seitengetrennt für links und rechts erfasst. So kann eine klinische Seitenbetonung erfasst werden. Je höher die Punktzahl des Scores, desto stärker ist die Beeinträchtigung in den verschiedenen Bereichen (Fahn und Elton 1987). Die Hoehn und Yahr Skala dient zur klinischen Einschätzung der Krankheitsschwere in Bezug auf den Krankheitsverlauf, indem funktionelle Defizite und objektive Zeichen der Erkrankung kombiniert werden. Es entstehen Werte von 0 (keine Anzeichen der Erkrankung) bis 5 (ohne Hilfe an den Rollstuhl gebunden), wobei die Stadien 1-3 eine geringe bis mäßige Beeinträchtigung und die Stadien 4-5 eine starke Beeinträchtigung beschreiben (Hoehn und Yahr 2001). Da sich die Punktwerte der Scores u.a. in Abhängigkeit der Behandlung ändern, war die Aktualität der Scores bedeutend, um einen möglichen Zusammenhang zwischen den erhobenen Muskelparametern und der Schwere der Erkrankung darstellen zu können. Bei allen rekrutierten Patienten lag die Diagnose eines idiopathischen Parkinsonsyndroms entsprechend der MDS-Kriterien (Postuma et al. 2015) vor. Ausschlusskriterien waren ein Schlaganfall, eine Fazialisparese oder anderweitig schwerwiegende neurologische Erkrankungen in der Anamnese. Die Seitenbetonung wurde durch die seitengetrennte motorische Untersuchung im MDS-UPDRS III erfasst. In **Tabelle 3** findet sich eine Übersicht über die biometrischen Daten der Patienten.

Tabelle 3: Biometrische Daten der 38 Patienten getrennt für Männer und Frauen

n=Anzahl, MW=Mittelwert; SD=Standardabweichung; BMI=Body-Mass-Index; UPDRS 3=Unified Parkinson's Disease Rating Scale Teil 3; H&Y=Hoehn und Yahr Skala

	n	Frauen	n	Männer
Alter in Jahren - MW (SD)	18	70,67 (6,28)	20	69,70 (8,07)
Größe in cm - MW (SD)	18	161,39 (7,69)	20	173,85 (5,73)
Gewicht in kg - MW (SD)	18	73,03 (16,16)	20	86,40 (17,83)
BMI in kg/m ² - MW (SD)	18	28,09 (6,20)	20	28,64 (6,29)
MDS-UPDRS III - MW (SD)	18	31,61 (14,75)	20	35,10 (12,97)
H&Y- MW (SD)	18	3,19 (1,07)	20	3,10 (0,82)

3.11 Untersuchungsprotokoll für die Patienten

Die Sonografie und Segmentierung der mimischen Muskeln fand immer nach dem gleichen Ablauf statt. Nachdem der Patient bzw. Proband aufgeklärt und sein schriftliches Einverständnis eingeholt worden war, wurden die Zielbewegungen erläutert, demonstriert und gemeinsam mit dem Untersucher geübt. Danach wurden die einzelnen Muskeln in folgender Reihenfolge vermessen: Mm. mentales, M. depressor labii inferioris, M. depressor anguli oris, M. zygomaticus major, M.

masseter, M. temporalis, M. orbicularis oculi, M. frontalis, M. orbicularis oris. Zunächst wurde immer der Muskel der linken Gesichtsseite vermessen, dann folgte der gleiche Muskel auf der rechten Seite. Aufgrund der gleichen Schallkopfposition wurden der M. depressor labii inferioris und M. depressor anguli oris sowie der M. temporalis und M. orbicularis oculi einer Seite direkt nacheinander geschallt. Erst danach folgte die Gegenseite. Alle Messungen wurden mit dem eZono 4000 (eZono, Jena, Deutschland) und einem Linearschallkopf mit einer Frequenz zwischen 3 und 12 MHz (L 3-12 MHz) realisiert. War der Datensatz vollständig, wurden die Bilder und Videos auf einen USB-Stick übertragen und anschließend in das Programm zur Segmentierung eingespeist. Die manuelle Segmentierung erfolgte in gleicher Reihenfolge wie die Aufnahmen der Videos. Die Videos wurden zunächst in Gänze begutachtet und eine geeignete Sequenz, in der ein Ruhezustand mit direkt nachfolgender Kontraktion gut beurteilbar war, ausgewählt. Nach Einstellung von Helligkeit und Kontrast wurden die Muskelquerschnittfläche sowie die maximalen Längs- und Querdurchmesser festgelegt. Die Daten inklusive des minimalen, maximalen und durchschnittlichen Grauwertes wurden in einer Excel-Tabelle gesammelt.

3.12 Statistische Auswertung

Diese Arbeit ist eine klinisch experimentelle Studie. Alle erhobenen Daten wurden zunächst mit Excel 2010 für Windows (Microsoft Corp., Redmond, Washington) tabellarisch erfasst und anschließend mittels der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics 23 für Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois) statistisch ausgewertet. Zunächst sollte überprüft werden, ob die Messwerte einer Normalverteilung unterliegen um zu prüfen, ob später in der Auswertung parametrische oder nicht-parametrische statistische Tests angewendet werden konnten. Als optisches Hilfsmittel wurden Boxplots erstellt. Der Boxplot stellt den Median als horizontale Linie innerhalb der Box dar, der Interquartilabstand (Abstand zwischen der 25. Perzentile und 75. Perzentile) bestimmt die Länge der Box. Die Whisker zeigen das Minimum und Maximum der Messwerte an, vorausgesetzt sie übersteigen nicht die 1,5fache Länge des Interquartilabstandes. Werte über dem 1,5fachen des Interquartilabstandes werden als Ausreißer bezeichnet, Werte über dem 3fachen als extreme Ausreißer (Bühl 2016). Ein symmetrischer Boxplot dessen Median im Zentrum der Box liegt lässt darauf schließen, dass eine Normalverteilung vorliegt (Krentz 2005). Eine symmetrische Verteilung konnte bei allen Messwerten bestätigt

werden. Um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse nachzuweisen, wurde eine Intra-Klassen-Korrelation mittels SPSS durchgeführt. Der Intra-Klassen-Koeffizient (ICC) kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen. Laut Definition sind die Reliabilitätsmaße aber auf Werte zwischen 0 und 1 beschränkt, sodass negative Koeffizienten eine Reliabilität von 0 ergeben (Wirtz und Casper 2002). Bevor die Messergebnisse der Muskelparameter der Patienten mit den Referenzwerten gesunder Probanden verglichen werden konnten, wurde mittels eines t-Tests festgestellt, ob sich die Messwerte der linken und rechten Gesichtshälfte sowie die mittleren Grauwerte der verschiedenen Muskeln auf den Gesichtsseiten signifikant unterschieden. Dabei wurde differenziert zwischen Patienten mit und ohne klinischer Seitenbetonung. Bei keinem der Messwerte konnte eine statistisch signifikante Seitendifferenz festgestellt werden, sodass die Werte der unterschiedlichen Seiten und der Patienten mit und ohne klinischer Seitenbetonung zusammengefasst, d.h. gepoolt, wurden. Danach wurden mittels eines t-Tests geschlechtsspezifische Unterschiede der Muskelparameter und Unterschiede der gepoolten Werte zu den Referenzwerten gesunder Probanden untersucht. Um mögliche Korrelationen zwischen der Muskelgröße in Ruhe und Körpergröße, Körpergewicht, Body-Mass-Index (BMI), definierten Distanzen im Gesicht (bizygomatischer Abstand, mentomentale Länge und Kopfumfang) sowie der Schwere der Erkrankung (MDS-UPDRS III, Item Fingertapping, Item Gesichtsausdruck) zu bestimmen, wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman (r_s) berechnet. Dabei wird jedem Wert ein Rang zugeteilt, anhand dessen die Berechnung erfolgt (Krentz 2005). Der Rangkorrelationskoeffizient kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen, wobei ein negativer Wert einen indirekten Zusammenhang beschreibt. Je näher der Wert an der 0 liegt, desto geringer ist der Zusammenhang. Nach dem Betrag des Wertes wird folgende Einteilung verwendet: $r=0-0,2$ (sehr geringe Korrelation); $r=0,2-0,5$ (geringe Korrelation); $r=0,5-0,7$ (mittlere Korrelation); $r=0,7-0,9$ (hohe Korrelation) und $r>0,9$ (sehr hohe Korrelation) (Krentz 2005). Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf $p<0,05$ festgelegt.

4. Ergebnisse

4.1 Reliabilität

4.1.1 Intraobserver Reliabilität

Um die Reproduzierbarkeit der Messungen innerhalb eines Untersuchers zu überprüfen, wurden die ICC-Koeffizienten ermittelt. Es fanden zwei Messungen im Zeitabstand von 14 Tagen bei 10 gesunden Probanden statt.

Tabelle 4: Intraobserver Reliabilität der neun Kennmuskeln in Ruhe und Kontraktion aus zwei seitengetrennten Wiederholungsmessungen bei 10 gesunden Probanden

(ICC – Intra-Klassen-Koeffizient; 95% CI – 95% Konfidenzintervall; LDM – Längsdurchmesser; QDM – Querdurchmesser; n – Anzahl der Messungen)

Intraobserver Reliabilität								
Muskel	Seite	n	Ruhe			Kontraktion		
			ICC	95% CI	p-Wert	ICC	95% CI	p-Wert
M. mentalis Fläche (mm²)	L	10	0,913	[0,706; 0,977]	<0,001	0,888	[0,634; 0,971]	<0,001
	R	10	0,919	[0,725; 0,979]	<0,001	0,903	[0,678; 0,975]	<0,001
M. mentalis LDM (mm)	L	10	0,586	[0,007; 0,876]	0,024	0,122	[-0,495; 0,670]	0,352
	R	10	0,187	[-0,442; 0,706]	0,281	0,180	[-0,448; 0,702]	0,288
M. mentalis QDM (mm)	L	10	0,667	[0,140; 0,904]	0,100	0,421	[-0,213; 0,813]	0,089
	R	10	0,496	[-0,120; 0,843]	0,053	0,523	[-0,085; 0,853]	0,043
M. depressor anguli oris Fläche (mm²)	L	10	0,963	[0,866; 0,990]	<0,001	0,964	[0,870; 0,991]	<0,001
	R	10	0,871	[0,587; 0,966]	<0,001	0,975	[0,910; 0,994]	<0,001
M. depressor anguli oris LDM (mm)	L	10	0,481	[-0,139; 0,838]	0,059	0,337	[-0,304; 0,777]	0,145
	R	10	0,880	[0,612; 0,968]	<0,001	0,734	[0,266; 0,925]	0,004
M. depressor anguli oris QDM (mm)	L	10	0,162	[-0,463; 0,692]	0,308	0,758	[0,316; 0,933]	0,002
	R	10	0,736	[0,269; 0,926]	0,003	0,644	[0,100; 0,896]	0,013
M. depressor labii inferioris Fläche (mm²)	L	10	0,904	[0,679; 0,975]	<0,001	0,815	[0,444; 0,950]	0,001
	R	10	0,834	[0,491; 0,955]	<0,001	0,823	[0,462; 0,952]	0,001
M. depressor labii inferioris LDM (mm)	L	10	0,211	[-0,422; 0,718]	0,257	0,573	[-0,012; 0,872]	0,027
	R	10	0,644	[0,100; 0,896]	0,013	0,809	[0,430; 0,948]	0,001
M. depressor labii inferioris QDM (mm)	L	10	0,426	[-0,207; 0,816]	0,086	0,689	[0,179; 0,911]	0,007
	R	10	0,470	[-0,153; 0,833]	0,064	0,334	[-0,307; 0,776]	0,147
M. zygomaticus major Fläche (mm²)	L	10	0,815	[0,444; 0,950]	0,001	0,977	[0,916; 0,994]	<0,001
	R	10	0,936	[0,779; 0,984]	<0,001	0,986	[0,947; 0,996]	<0,001
M. zygomaticus major LDM (mm)	L	10	0,449	[-0,180; 0,825]	0,074	0,637	[0,088; 0,894]	0,014
	R	10	0,596	[0,022; 0,880]	0,022	0,509	[-0,103; 0,848]	0,047
M. zygomaticus major QDM (mm)	L	10	0,507	[-0,106; 0,847]	0,048	0,529	[-0,076; 0,856]	0,040
	R	10	0,169	[-0,457; 0,696]	0,300	0,652	[0,114; 0,899]	0,011
M. temporalis QDM (mm)	L	10	0,813	[0,440; 0,949]	0,001	0,963	[0,866; 0,990]	<0,001
	R	10	0,827	[0,473; 0,953]	<0,001	0,857	[0,548; 0,962]	<0,001
M. masseter QDM (mm)	L	10	0,924	[0,740; 0,980]	<0,001	0,984	[0,940; 0,996]	<0,001
	R	10	0,958	[0,851; 0,989]	<0,001	0,988	[0,957; 0,997]	<0,001
M. orbicularis oculi QDM (mm)	L	10	0,867	[0,577; 0,965]	<0,001	0,950	[0,824; 0,987]	<0,001
	R	10	0,879	[0,607; 0,968]	<0,001	0,813	[0,439; 0,949]	0,001
M. frontalis QDM (mm)	L	10	0,892	[0,646; 0,972]	<0,001	0,976	[0,913; 0,994]	<0,001
	R	10	0,957	[0,847; 0,989]	<0,001	0,973	[0,903; 0,993]	<0,001
M. orbicularis oris QDM (mm)	L	10	0,763	[0,326; 0,934]	0,002	0,901	[0,672; 0,974]	<0,001
	R	10	0,797	[0,402; 0,945]	0,001	0,936	[0,779; 0,984]	<0,001

In **Tabelle 4** ist die Intraobserver-Reliabilität dargestellt. Sowohl in Ruhe als auch in Kontraktion zeigten sich überwiegend gute bis sehr gute ICCs. Bei den Muskeln, bei denen Fläche, LDM und QDM vermessen wurden, ergab sich in allen Fällen in Ruhe und Kontraktion der höchste ICC für die Flächen. In Ruhe waren die ICC-Koeffizienten für die Flächen $\geq 0,815$, für die LDM $\geq 0,162$ und für den QDM $\geq 0,169$. Bei den Muskeln, bei denen nur der QDM vermessen werden konnten, lagen die ICC-Koeffizienten bei $\geq 0,763$. Die ICC-Koeffizienten in Kontraktion lagen für die Flächen bei $\geq 0,815$, für die LDM bei $\geq 0,122$ und für die QDM bei $\geq 0,334$. Die Koeffizienten der Muskeln, bei denen nur der QDM bestimmt wurde, lagen bei $\geq 0,813$. In Ruhe zeigten alle Koeffizienten ein signifikantes Ergebnis, bis auf den LDM des M. mentalis rechts ($p=0,281$) sowie den QDM beidseits (li $p=0,100$ / re $p=0,053$); den QDM des M. depressor anguli oris links ($p=0,308$); den LDM des M. depressor labii inferioris links ($p=0,257$) sowie den QDM beidseits (li $p=0,086$ /re $p=0,064$); den LDM des M. zygomaticus major links ($p=0,074$) und dem QDM rechts ($p=0,300$). In Kontraktion zeigten ebenfalls alle ICCs signifikante Ergebnisse, bis auf den LDM des M. mentalis beidseits (li $p=0,352$ /re $p=0,288$) und dem QDM des M. depressor labii inferioris rechts ($p=0,147$).

4.1.2 Interobserver Reliabilität

Im Anschluss an die Intraobserver Reliabilität wurde auch die Interobserver Reliabilität ermittelt. Das heißt, es wurde die Korrelation der Messwerte von zwei verschiedenen Untersuchern aus zwei seitengetrennten Wiederholungsmessungen bei 10 gesunden Probanden ermittelt. Es wurde eine Reliabilitätsmessung im Zeitabstand eines Tages und im Zeitabstand von 14 Tagen durchgeführt, um einen möglichen Einfluss des Zeitintervalls darzustellen. Jeder Untersucher segmentierte seine eigenen Videos. Bei der statistischen Auswertung kam statt eines einfach, gemischten Modells, wie bei der Intraobserver Reliabilität, ein zweifach, gemischtes Modell zur Anwendung.

Ergebnisse

Tabelle 5: Interobserver Reliabilität der neun Kennmuskeln in Ruhe und Kontraktion aus zwei seitengetrennten Wiederholungsmessungen bei 10 gesunden Probanden im Abstand 1 Tages (ICC – Intra-Klassen-Koeffizient; 95% CI – 95% Konfidenzintervall; LDM – Längsdurchmesser; QDM – Querdurchmesser; n – Anzahl der Messungen)

Interobserver Reliabilität im 1 Tages Intervall								
Muskel	Seite	n	Ruhe			Kontraktion		
			ICC	95% CI	p-Wert	ICC	95% CI	p-Wert
M. mentalis Fläche (mm²)	L	20	0,852	[0,663; 0,930]	<0,001	0,891	[0,746; 0,955]	<0,001
	R	20	0,927	[0,824; 0,970]	<0,001	0,900	[0,765; 0,959]	<0,001
M. mentalis LDM (mm)	L	20	0,637	[0,282; 0,839]	0,001	0,384	[-0,058; 0,701]	0,043
	R	20	0,616	[0,250; 0,828]	0,001	0,821	[0,602; 0,925]	<0,001
M. mentalis QDM (mm)	L	20	0,682	[0,353; 0,861]	<0,001	0,578	[0,193; 0,808]	0,003
	R	20	0,361	[-0,085; 0,687]	0,054	0,660	[0,319; 0,850]	0,001
M. depressor anguli oris Fläche (mm²)	L	20	0,948	[0,875; 0,979]	<0,001	0,814	[0,588; 0,922]	<0,001
	R	20	0,952	[0,883; 0,981]	<0,001	0,984	[0,959; 0,994]	<0,001
M. depressor anguli oris LDM (mm)	L	20	0,709	[0,398; 0,874]	<0,001	0,696	[0,376; 0,867]	<0,001
	R	20	0,817	[0,594; 0,923]	<0,001	0,741	[0,453; 0,889]	<0,001
M. depressor anguli oris QDM (mm)	L	20	0,590	[0,211; 0,815]	0,002	0,768	[0,501; 0,901]	<0,001
	R	20	0,652	[0,306; 0,846]	0,001	0,636	[0,281; 0,838]	0,001
M. depressor labii inferioris Fläche (mm²)	L	20	0,756	[0,480; 0,896]	<0,001	0,781	[0,526; 0,907]	<0,001
	R	20	0,495	[0,080; 0,764]	0,011	0,940	[0,855; 0,976]	<0,001
M. depressor labii inferioris LDM (mm)	L	20	0,605	[0,233; 0,822]	0,002	0,202	[-0,253; 0,584]	0,190
	R	20	0,504	[0,091; 0,769]	0,010	0,603	[0,230; 0,821]	0,002
M. depressor labii inferioris QDM (mm)	L	20	0,397	[-0,043; 0,708]	0,037	0,439	[0,008; 0,733]	0,023
	R	20	-0,022	[-0,451; 0,415]	0,538	0,594	[0,217; 0,841]	0,002
M. zygomaticus major Fläche (mm²)	L	20	0,822	[0,605; 0,926]	<0,001	0,960	[0,903; 0,984]	<0,001
	R	20	0,914	[0,795; 0,965]	<0,001	0,977	[0,943; 0,991]	<0,001
M. zygomaticus major LDM (mm)	L	20	0,120	[-0,330; 0,526]	0,302	0,562	[0,171; 0,800]	0,004
	R	20	0,766	[0,498; 0,900]	<0,001	0,490	[0,073; 0,761]	0,012
M. zygomaticus major QDM (mm)	L	20	0,592	[0,214; 0,816]	0,002	0,643	[0,291; 0,841]	0,001
	R	20	0,321	[-0,130; 0,662]	0,078	0,685	[0,359; 0,862]	<0,001
M. temporalis QDM (mm)	L	20	0,740	[0,452; 0,888]	<0,001	0,639	[0,285; 0,840]	0,001
	R	20	0,540	[0,140; 0,789]	0,006	0,626	[0,265; 0,833]	0,001
M. masseter QDM (mm)	L	20	0,917	[0,803; 0,966]	<0,001	0,931	[0,834; 0,972]	<0,001
	R	20	0,918	[0,805; 0,967]	<0,001	0,917	[0,802; 0,966]	<0,001
M. orbicularis oculi QDM (mm)	L	20	0,916	[0,800; 0,966]	<0,001	0,793	[0,548; 0,912]	<0,001
	R	20	0,839	[0,638; 0,933]	<0,001	0,847	[0,655; 0,937]	<0,001
M. frontalis QDM (mm)	L	20	0,823	[0,607; 0,926]	<0,001	0,907	[0,780; 0,962]	<0,001
	R	20	0,886	[0,736; 0,953]	<0,001	0,859	[0,678; 0,942]	<0,001
M. orbicularis oris QDM (mm)	L	20	0,836	[0,632; 0,932]	<0,001	0,933	[0,839; 0,973]	<0,001
	R	20	0,880	[0,722; 0,951]	<0,001	0,909	[0,784; 0,963]	<0,001

Bei der Reliabilitätsuntersuchung im 1 Tages Intervall (**Tabelle 5**) zeigte sich, dass bei den Muskeln, bei denen sowohl die Durchmesser als auch die Fläche bestimmt wurde, die größte Übereinstimmung bei den Messwerten der Muskelquerschnittfläche vorlag. Die ICC-Koeffizienten in Ruhe waren für die Flächen $\geq 0,756$ mit Ausnahme des M. depressor labii inferioris der rechten Seite (0,495). Für die LDM lagen die ICC Koeffizienten bei $\geq 0,504$ mit Ausnahme des M. zygomaticus major der linken Seite (0,120) und für die QDM mit Ausnahme des M. depressor labii

inferioris der rechten Seite (-0,022) bei $\geq 0,321$. Für die Muskeln, bei denen nur der Durchmesser bestimmt wurde, ergaben sich ICC Koeffizienten von $\geq 0,540$. Bis auf die QDM des M. mentalis ($p=0,054$), des M. depressor labii inferioris ($p=0,538$) und des M. zygomaticus major ($p=0,078$) jeweils der rechten Seite sowie den LDM des M. zygomaticus major der linken Seite ($p=0,302$) zeigten sich in Ruhe für alle Koeffizienten ein signifikantes Ergebnis. Die Koeffizienten in Kontraktion waren für die Flächen $\geq 0,781$, für die LDM $\geq 0,202$ und für die QDM $\geq 0,439$. Für die Muskeln, bei denen lediglich der Durchmesser vermessen wurde, lagen die ICC Koeffizienten bei $\geq 0,626$. Für alle Koeffizienten zeigte sich ein signifikantes Ergebnis, lediglich der LDM des M. depressor labii inferioris der linken Seite ($p=0,190$) zeigte kein signifikantes Ergebnis.

Ergebnisse

Tabelle 6: Interobserver Reliabilität der neun Kennmuskeln in Ruhe und Kontraktion aus zwei seitengetrennten Wiederholungsmessungen bei 10 gesunden Probanden im Abstand von 14 Tagen

(ICC – Intra-Klassen-Koeffizient; 95% CI – 95% Konfidenzintervall; LDM – Längsdurchmesser; QDM – Querdurchmesser; n – Anzahl der Messungen)

Interobserver Reliabilität im 14 Tages Intervall								
Muskel	Seite	n	Ruhe			Kontraktion		
			ICC	95% CI	p-Wert	ICC	95% CI	p-Wert
M. mentalis Fläche (mm²)	L	20	0,861	[0,683; 0,943]	<0,001	0,845	[0,650; 0,936]	<0,001
	R	20	0,897	[0,759; 0,958]	<0,001	0,871	[0,704; 0,947]	<0,001
M. mentalis LDM (mm)	L	20	0,529	[0,125; 0,783]	0,007	0,223	[-0,232; 0,598]	0,165
	R	20	0,390	[-0,052; 0,704]	0,040	0,201	[-0,254; 0,583]	0,191
M. mentalis QDM (mm)	L	20	0,595	[0,218; 0,817]	0,002	0,585	[0,204; 0,812]	0,003
	R	20	0,461	[0,035; 0,745]	0,018	0,659	[0,316; 0,849]	0,001
M. depressor anguli oris Fläche (mm²)	L	20	0,920	[0,809; 0,967]	<0,001	0,788	[0,538; 0,910]	<0,001
	R	20	0,917	[0,804; 0,966]	<0,001	0,967	[0,918; 0,987]	<0,001
M. depressor anguli oris LDM (mm)	L	20	0,727	[0,429; 0,882]	<0,001	0,576	[0,191; 0,808]	0,003
	R	20	0,824	[0,609; 0,927]	<0,001	0,884	[0,732; 0,953]	<0,001
M. depressor anguli oris QDM (mm)	L	20	0,455	[0,027; 0,742]	0,019	0,641	[0,287; 0,840]	<0,001
	R	20	0,517	[0,109; 0,776]	0,008	0,751	[0,472; 0,894]	<0,001
M. depressor labii inferioris Fläche (mm²)	L	20	0,768	[0,502; 0,901]	<0,001	0,797	[0,556; 0,914]	<0,001
	R	20	0,476	[0,054; 0,754]	0,015	0,774	[0,514; 0,904]	<0,001
M. depressor labii inferioris LDM (mm)	L	20	0,509	[0,098; 0,772]	0,009	0,287	[-0,166; 0,641]	0,103
	R	20	0,488	[0,069; 0,760]	0,012	0,671	[0,336; 0,856]	<0,001
M. depressor labii inferioris QDM (mm)	L	20	0,372	[-0,073; 0,693]	0,049	0,400	[-0,039; 0,710]	0,036
	R	20	-0,045	[-0,469; 0,396]	0,576	0,175	[-0,279; 0,565]	0,224
M. zygomaticus major Fläche (mm²)	L	20	0,737	[0,446; 0,887]	<0,001	0,956	[0,893; 0,982]	<0,001
	R	20	0,929	[0,830; 0,971]	<0,001	0,968	[0,922; 0,987]	<0,001
M. zygomaticus major LDM (mm)	L	20	-0,100	[-0,511; 0,348]	0,667	0,568	[0,179; 0,803]	0,004
	R	20	0,633	[0,275; 0,836]	0,001	0,408	[-0,031; 0,714]	0,033
M. zygomaticus major QDM (mm)	L	20	0,440	[0,009; 0,733]	0,023	0,616	[0,250; 0,828]	0,001
	R	20	0,337	[-0,112; 0,672]	0,067	0,740	[0,452; 0,888]	<0,001
M. temporalis QDM (mm)	L	20	0,584	[0,202; 0,811]	0,003	0,677	[0,346; 0,858]	<0,001
	R	20	0,607	[0,236; 0,824]	0,002	0,632	[0,275; 0,836]	<0,001
M. masseter QDM (mm)	L	20	0,916	[0,801; 0,966]	<0,001	0,922	[0,815; 0,969]	<0,001
	R	20	0,934	[0,841; 0,873]	<0,001	0,931	[0,835; 0,972]	<0,001
M. orbicularis oculi QDM (mm)	L	20	0,867	[0,695; 0,945]	<0,001	0,813	[0,587; 0,922]	<0,001
	R	20	0,861	[0,682; 0,942]	<0,001	0,831	[0,622 ; 0,930]	<0,001
M. frontalis QDM (mm)	L	20	0,810	[0,581; 0,920]	<0,001	0,907	[0,780; 0,962]	<0,001
	R	20	0,883	[0,729; 0,952]	<0,001	0,833	[0,626; 0,930]	<0,001
M. orbicularis oris QDM (mm)	L	20	0,809	[0,579; 0,920]	<0,001	0,925	[0,820; 0,969]	<0,001
	R	20	0,885	[0,733; 0,953]	<0,001	0,890	[0,743; 0,955]	<0,001

Bei der Reliabilitätsuntersuchung im 14 Tages Intervall (**Tabelle 6**) zeigte sich ebenfalls, dass bei den Muskeln, bei denen sowohl die Durchmesser als auch die Fläche bestimmt wurde, die größte Übereinstimmung bei den Messwerten der Muskelquerschnittfläche vorlag. Die ICC-Koeffizienten in Ruhe waren für die Flächen $\geq 0,737$ mit Ausnahme des M. depressor labii inferioris der rechten Seite (0,476). Für die LDM lagen die ICC Koeffizienten bei $\geq 0,390$ mit Ausnahme des M. zygomaticus

major der linken Seite (-0,100) und für die QDM mit Ausnahme des M. depressor labii inferioris der rechten Seite (-0,045) bei $\geq 0,337$. Für die Muskeln, bei denen nur der Durchmesser bestimmt wurde, ergaben sich ICC Koeffizienten von $\geq 0,584$. Bis auf die QDM des M. depressor labii inferioris ($p=0,576$) und des M. zygomaticus major ($p=0,067$) jeweils der rechten Seite sowie den LDM des M. zygomaticus major der linken Seite ($p=0,667$) zeigten sich in Ruhe für alle Koeffizienten ein signifikantes Ergebnis. Die Koeffizienten in Kontraktion waren für die Flächen $\geq 0,774$, für die LDM $\geq 0,201$ und für die QDM $\geq 0,175$. Für die Muskeln, bei denen lediglich der Durchmesser vermessen wurde, lagen die ICC Koeffizienten bei $\geq 0,632$. Bis auf die LDM des M. mentalis beidseits (re: $p=0,191$; li: $p=0,165$) und den LDM des M. depressor labii inferioris der linken Seite ($p=0,103$) sowie den QDM der rechten Seite ($p=0,224$) zeigten alle Koeffizienten in Kontraktion ein signifikantes Ergebnis.

4.2 Muskelgrößen

4.2.1 Seitenvergleich

Mit Hilfe eines t-Tests wurde überprüft, ob sich signifikante Seitenunterschiede für die Muskelgrößen in Ruhe (**Tabelle 7**), Kontraktion (**Tabelle 8**) oder für die Kontraktilität (**Tabelle 9**) ergaben. Da ein nicht signifikantes Ergebnis im t-Test die Seitengleichheit nicht beweisen kann, wurde bei der Erstellung von Referenzwerten gesunder Probanden zusätzlich ein Äquivalenztest durchgeführt (Volk 2014a). Bis auf wenige Ausnahmen konnte eine Äquivalenz nachgewiesen werden. Aus praktikablen Gründen wurden trotz alledem die Mittelwerte beider Gesichtshälften zusammengefasst. Da sich auch bei den Patienten mit M. Parkinson keine signifikanten Seitenunterschiede in Ruhe, Kontraktion oder bei der Kontraktilität im t-Test zeigten, wurde auf einen Äquivalenztest verzichtet und auch hier für alle nachfolgenden Betrachtungen die Werte beider Gesichtshälften zusammengefasst. So ist eine gute Vergleichbarkeit der Messwerte mit den Referenzwerten aus der Literatur gewährleistet.

Ergebnisse

Tabelle 7: t-Test zur Überprüfung der Gleichheit der Muskelgrößen beider Gesichtshälften in Ruhe
(MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung)

Seitenvergleich der geschlechtsspezifischen Muskelgrößen in Ruhe													
		Frauen							Männer				
		links		rechts		p-Wert			links		rechts		p-Wert
Muskel	n	MW	SD	MW	SD		n	MW	SD	MW	SD		
M. mentalis Fläche (mm²)	18	41,190	14,210	41,240	12,030	0,993	20	43,270	15,710	44,430	15,750	0,846	
M. mentalis LDM (mm)	18	12,150	2,770	12,150	2,770	1,000	20	11,980	2,100	11,630	2,320	0,679	
M. mentalis QDM (mm)	18	5,040	0,970	5,280	1,080	0,620	20	5,350	1,930	5,930	1,890	0,431	
M. depressor anguli oris Fläche (mm²)	18	28,930	7,790	33,920	13,690	0,329	20	47,150	14,660	42,020	10,970	0,304	
M. depressor anguli oris LDM (mm)	18	10,610	1,820	11,870	1,580	0,112	20	14,540	1,890	13,500	1,920	0,161	
M. depressor anguli oris QDM (mm)	18	3,670	0,890	4,470	1,380	0,137	20	4,620	1,250	4,450	1,250	0,728	
M. depressor labii inferioris Fläche (mm²)	18	24,670	8,730	24,970	5,720	0,930	20	31,840	9,900	28,150	9,110	0,314	
M. depressor labii inferioris LDM (mm)	18	9,550	2,670	9,430	1,420	0,905	20	10,590	1,870	9,550	2,340	0,208	
M. depressor labii inferioris QDM (mm)	18	3,600	0,890	3,670	0,540	0,816	20	4,370	0,970	3,890	0,690	0,142	
M. zygomaticus major Fläche (mm²)	18	65,410	17,860	62,700	13,820	0,709	20	86,420	32,750	78,540	29,240	0,508	
M. zygomaticus major LDM (mm)	18	15,830	2,570	15,440	2,950	0,755	20	18,270	2,460	17,100	2,730	0,244	
M. zygomaticus major QDM (mm)	18	6,820	1,600	6,660	1,550	0,831	20	7,460	1,530	2,270	2,050	0,790	
M. temporalis QDM (mm)	18	17,140	2,420	16,380	2,010	0,456	20	16,610	2,200	16,460	1,410	0,834	
M. masseter QDM (mm)	18	11,570	1,210	13,580	1,940	0,275	20	13,200	2,460	13,340	2,040	0,867	
M. orbicularis oculi QDM (mm)	18	0,980	0,180	0,900	0,170	0,318	20	1,230	0,290	1,270	0,310	0,370	
M. frontalis QDM (mm)	18	2,850	0,490	3,160	0,530	0,200	20	2,540	0,650	2,510	0,800	0,913	
M. orbicularis oris QDM (mm)	18	2,390	0,470	2,200	0,360	0,325	20	2,580	0,530	2,740	0,570	0,468	

Tabelle 8: t-Test zur Überprüfung der Gleichheit der Muskelgrößen beider Gesichtshälften in Kontraktion
(MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung)

Seitenvergleich der geschlechtsspezifischen Muskelgrößen in Kontraktion												
		Frauen						Männer				
		links		rechts		p-Wert		links		rechts		p-Wert
Muskel	n	MW	SD	MW	SD		n	MW	SD	MW	SD	
M. mentalis Fläche (mm²)	18	50,160	10,580	48,930	10,920	0,805	20	54,170	16,910	55,910	18,520	0,797
M. mentalis LDM (mm)	18	12,120	2,890	12,170	1,550	0,968	20	12,920	2,100	12,820	1,700	0,881
M. mentalis QDM (mm)	18	5,840	1,350	5,940	0,990	0,864	20	6,130	1,270	6,730	1,610	0,289
M. depressor anguli oris Fläche (mm²)	18	67,970	9,909	40,840	11,640	0,405	20	52,580	14,160	47,840	11,710	0,375
M. depressor anguli oris LDM (mm)	18	11,120	2,350	12,310	4,560	0,472	20	14,630	2,630	14,160	2,480	0,629
M. depressor anguli oris QDM (mm)	18	4,26	0,97	4,520	1,080	0,574	20	5,070	0,720	4,910	1,450	0,707
M. depressor labii inferioris Fläche (mm²)	18	29,760	10,260	27,230	6,670	0,522	20	34,600	11,630	30,580	10,570	0,347
M. depressor labii inferioris LDM (mm)	18	9,290	2,200	9,800	1,510	0,551	20	10,520	2,110	10,480	1,700	0,957
M. depressor labii inferioris QDM (mm)	18	4,410	0,830	4,050	0,710	0,311	20	4,560	1,070	4,080	1,170	0,272
M. zygomaticus major Fläche (mm²)	18	85,380	21,720	87,550	22,520	0,828	20	106,260	38,680	104,770	33,580	0,914
M. zygomaticus major LDM (mm)	18	18,310	2,830	16,890	2,270	0,232	20	19,750	3,520	18,470	2,360	0,379
M. zygomaticus major QDM (mm)	18	7,310	1,600	8,060	2,240	0,399	20	8,170	1,970	8,490	2,350	0,693
M. temporalis QDM (mm)	18	17,420	2,350	16,730	1,550	0,448	20	16,950	2,180	17,020	1,620	0,924
M. masseter QDM (mm)	18	12,640	1,840	13,580	1,940	0,277	20	14,160	2,220	14,560	2,240	0,641
M. orbicularis oculi QDM (mm)	18	0,730	0,180	0,740	0,160	0,936	20	0,950	0,230	1,060	0,340	0,331
M. frontalis QDM (mm)	18	3,460	0,640	4,080	0,860	0,083	20	3,340	1,020	3,300	1,120	0,932
M. orbicularis oris QDM (mm)	18	2,810	0,730	2,380	0,460	0,138	20	2,910	0,570	2,910	0,430	1,000

Tabelle 9: t-Test zur Überprüfung der Gleichheit der Kontraktilität beider Gesichtshälften
(MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung)

Seitenvergleich der geschlechtsspezifischen Kontraktilität													
		Frauen						Männer					
		links		rechts		p-Wert		links		rechts		p-Wert	
Muskel	n	MW	SD	MW	SD		n	MW	SD	MW	SD		
M. mentalis Fläche (mm²)	18	16,380	26,390	14,340	21,830	0,852	20	19,740	13,910	20,050	13,740	0,954	
M. mentalis LDM (mm)	18	-6,940	42,660	-5,540	22,620	0,928	20	6,660	13,250	9,220	14,070	0,625	
M. mentalis QDM (mm)	18	9,01	26,8	9,02	24,82	1,000	20	12,75	21,93	11,34	15,69	0,847	
M. depressor anguli oris Fläche (mm²)	18	25,990	25,680	18,130	12,480	0,396	20	9,570	15,210	11,400	14,280	0,746	
M. depressor anguli oris LDM (mm)	18	2,220	20,370	-101,890	357,500	0,370	20	-1,000	13,440	2,620	18,380	0,557	
M. depressor anguli oris QDM (mm)	18	12,940	14,180	-0,460	28,140	0,195	20	9,520	19,030	8,190	12,830	0,831	
M. depressor labii inferioris Fläche (mm²)	18	14,350	22,470	6,130	20,790	0,407	20	6,420	10,430	4,920	20,270	0,808	
M. depressor labii inferioris LDM (mm)	18	-5,300	27,490	2,470	15,210	0,444	20	-2,030	12,900	9,890	18,490	0,058	
M. depressor labii inferioris QDM (mm)	18	15,540	24,470	7,130	18,310	0,395	20	2,200	19,880	-1,270	28,390	0,711	
M. zygomaticus major Fläche (mm²)	18	22,860	11,460	25,870	16,190	0,637	20	16,900	15,940	22,620	20,610	0,419	
M. zygomaticus major LDM (mm)	18	12,970	10,870	6,970	23,130	0,467	20	5,450	16,180	8,340	13,400	0,611	
M. zygomaticus major QDM (mm)	18	6,220	10,200	13,640	24,130	0,382	20	6,640	14,440	13,740	11,680	0,165	
M. temporalis QDM (mm)	18	1,690	2,350	2,320	3,690	0,653	20	2,000	3,480	3,150	3,320	0,380	
M. masseter QDM (mm)	18	7,940	4,990	9,260	6,980	0,633	20	6,940	7,080	8,050	6,790	0,675	
M. orbicularis oculi QDM (mm)	18	-36,800	23,800	-25,210	27,210	0,324	20	-29,950	14,530	-22,770	15,820	0,222	
M. frontalis QDM (mm)	18	16,160	13,600	21,340	10,880	0,360	20	22,310	10,190	23,070	11,760	0,858	
M. orbicularis oris QDM (mm)	18	12,020	17,800	5,730	19,400	0,458	20	10,060	15,220	5,960	12,520	0,442	

4.2.2 Seitenvergleich bei Patienten mit klinischer Seitenbetonung

Im Anschluss an den Test auf Seitengleichheit wurde ebenfalls mit Hilfe eines t-Tests geprüft, ob sich signifikante Seitenunterschiede bei den Patienten mit klinischer Seitenbetonung ergaben. Das heißt, ob sich die Muskelparameter der klinisch stärker betroffenen also betonten Seite von der nicht betonten Seite unterschieden. Dabei wurden Männer und Frauen mit Seitenbetonung gemeinsam betrachtet. Insgesamt hatten 14 Patienten eine Seitenbetonung des Parkinsonsyndroms, wobei 10 Patienten ein rechtsbetontes und 4 Patienten ein linksbetontes Parkinsonsyndrom aufwiesen. Zur leichteren Einschätzung wurde die prozentuale Seitendifferenz aufgeführt.

Tabelle 10: t-Test zur Überprüfung von Seitendifferenzen der Muskelgrößen in Ruhe bei Patienten mit klinischer Seitenbetonung
(MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung)

Muskelgrößen bei Patienten mit klinischer Seitenbetonung in Ruhe							
Muskel	n	betonte Seite		nicht betonte Seite		mittlere Differenz	p-Wert
		MW	SD	MW	SD	in %	
M. mentalis Fläche (mm ²)	14	36,910	16,160	43,550	11,460	-15,250	0,498
M. mentalis LDM (mm)	14	11,030	2,610	11,780	2,450	-6,370	0,440
M. mentalis QDM (mm)	14	5,660	1,790	5,580	1,390	1,430	0,896
M. depressor anguli oris Fläche (mm ²)	14	36,840	14,400	35,400	8,830	4,070	0,752
M. depressor anguli oris LDM (mm)	14	12,650	1,990	12,150	2,280	4,120	0,542
M. depressor anguli oris QDM (mm)	14	4,120	1,340	4,280	0,770	-3,740	0,702
M. depressor labii inferioris Fläche (mm ²)	14	28,830	10,630	29,900	9,660	-3,580	0,783
M. depressor labii inferioris LDM (mm)	14	11,880	2,900	10,450	9,510	13,680	0,595
M. depressor labii inferioris QDM (mm)	14	3,670	1,080	4,300	1,230	-14,650	0,162
M. zygomaticus major Fläche (mm ²)	14	69,480	16,730	68,740	23,230	1,070	0,924
M. zygomaticus major LDM (mm)	14	16,120	2,580	14,060	3,020	14,650	0,955
M. zygomaticus major QDM (mm)	14	7,170	1,370	6,600	1,780	8,640	0,351
M. temporalis QDM (mm)	14	16,130	1,730	16,370	1,910	-1,470	0,730
M. masseter QDM (mm)	14	12,960	2,200	12,610	1,860	2,780	0,653
M. orbicularis oculi QDM (mm)	14	1,060	0,240	0,980	0,220	8,160	0,366
M. frontalis QDM (mm)	14	2,520	0,470	2,510	0,560	0,400	0,960
M. orbicularis oris QDM (mm)	14	2,320	0,460	2,320	0,370	0,000	1,000

Die in **Tabelle 10** aufgeführten Parameter zeigen den Vergleich der Muskelgrößen in Ruhe. Bei keinem der Parameter konnte ein signifikanter Seitenunterschied gezeigt werden. Die prozentuale Differenz zwischen den Mittelwerten der Seiten liegt zwischen -15,25 % und +14,65 %.

Tabelle 11: t-Test zur Überprüfung von Seitendifferenzen der Muskelgrößen in Kontraktion bei Patienten mit klinischer Seitenbetonung
(MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung)

Muskelgrößen bei Patienten mit klinischer Seitenbetonung in Kontraktion							
Muskel	n	betonte Seite		nicht betonte Seite		mittlere Differenz	p-Wert
		MW	SD	MW	SD	in %	
M. mentalis Fläche (mm ²)	14	49,320	13,690	51,670	15,500	-4,540	0,765
M. mentalis LDM (mm)	14	12,180	2,110	12,170	2,730	0,080	0,911
M. mentalis QDM (mm)	14	5,940	6,050	5,960	1,530	-0,340	0,963
M. depressor anguli oris Fläche (mm ²)	14	39,850	10,440	36,810	7,600	8,260	0,241
M. depressor anguli oris LDM (mm)	14	12,730	2,100	12,940	2,390	-1,620	0,894
M. depressor anguli oris QDM (mm)	14	4,590	1,020	4,250	0,780	8,000	0,241
M. depressor labii inferioris Fläche (mm ²)	14	29,760	7,310	28,950	8,510	2,800	0,510
M. depressor labii inferioris LDM (mm)	14	10,090	1,640	10,080	2,070	0,099	0,566
M. depressor labii inferioris QDM (mm)	14	3,970	0,820	4,340	1,040	-8,530	0,397
M. zygomaticus major Fläche (mm ²)	14	87,030	27,850	101,350	38,450	-14,130	0,152
M. zygomaticus major LDM (mm)	14	19,080	3,850	19,600	4,490	-2,650	0,515
M. zygomaticus major QDM (mm)	14	7,500	1,620	7,750	1,550	-3,230	0,653
M. temporalis QDM (mm)	14	16,750	1,720	17,140	2,000	-2,280	0,099
M. masseter QDM (mm)	14	14,130	2,190	14,510	2,140	-2,610	0,437
M. orbicularis oculi QDM (mm)	14	0,900	0,190	0,880	0,280	2,270	0,711
M. frontalis QDM (mm)	14	3,190	0,600	3,200	0,630	-0,310	0,449
M. orbicularis oris QDM (mm)	14	2,550	0,520	2,640	0,390	-3,410	0,426

Die in **Tabelle 11** aufgeführten Parameter zeigen den Vergleich der Muskelgrößen in Kontraktion. Bei keinem der Parameter konnte ein signifikanter Seitenunterschied gezeigt werden. Die prozentuale Differenz zwischen den Mittelwerten der Seiten liegt zwischen -4,54 % und +8,26 %, mit Ausnahme der Fläche des M. zygomaticus major (-14,13 %).

Tabelle 12: t-Test zur Überprüfung von Seitendifferenzen der Kontraktilität bei Patienten mit klinischer Seitenbetonung
(MW=Mittelwert der Kontraktilität, SD=Standardabweichung)

Muskeldynamik bei Patienten mit klinischer Seitenbetonung in %							
Muskel	n	betonte Seite		nicht betonte Seite		mittlere Differenz in %	p-Wert
		MW	SD	MW	SD		
M. mentalis Fläche (%)	14	18,850	20,480	13,710	13,170	5,140	0,266
M. mentalis LDM (%)	14	7,830	21,050	1,350	19,360	6,480	0,253
M. mentalis QDM (%)	14	3,940	17,800	4,490	16,350	-0,560	0,851
M. depressor anguli oris Fläche (%)	14	8,940	14,770	2,760	18,230	6,190	0,236
M. depressor anguli oris LDM (%)	14	-0,280	13,530	5,710	8,350	-5,990	0,359
M. depressor anguli oris QDM (%)	14	10,320	18,160	-7,080	27,180	17,400	0,040
M. depressor labii inferioris Fläche (%)	14	5,070	18,190	-4,370	18,230	9,450	0,214
M. depressor labii inferioris LDM (%)	14	-19,750	32,220	-5,470	22,240	-14,320	0,301
M. depressor labii inferioris QDM (%)	14	7,160	22,520	0,640	16,860	6,530	0,335
M. zygomaticus major Fläche (%)	14	17,360	13,350	29,020	15,720	-11,660	0,088
M. zygomaticus major LDM (%)	14	13,500	17,130	15,970	16,030	-2,470	0,940
M. zygomaticus major QDM (%)	14	1,570	20,630	13,100	23,780	-11,540	0,231
M. temporalis QDM (%)	14	3,600	5,300	4,330	5,510	-0,730	0,654
M. masseter QDM (%)	14	8,320	5,260	12,750	8,180	-4,430	0,190
M. orbicularis oculi QDM (%)	14	-17,210	11,930	-16,200	25,060	-1,010	0,854
M. frontalis QDM (%)	14	20,290	8,660	20,820	13,070	-0,530	0,408
M. orbicularis oris QDM (%)	14	8,330	9,180	11,210	12,320	-2,880	0,511

Die in **Tabelle 12** aufgeführten Parameter zeigen den Vergleich der Kontraktilität. Die prozentuale Differenz zwischen den Mittelwerten der Seiten liegt zwischen -11,840 % und +6,190 %, mit Ausnahme des LDM des M. depressor labii inferioris (-14,320 %) und des QDM des M. depressor anguli oris (+17,400 %), der auch als einziger Wert signifikant wurde ($p=0,040$).

Sowohl in Ruhe und Kontraktion als auch bei der Kontraktilität konnten mit Ausnahme des QDM des M. depressor anguli oris in der Kontraktilität ($p=0,040$) kein signifikanter Seitenunterschied im t-Test nachgewiesen werden. Auch bei der prozentualen Differenz der Mittelwerte der Seiten lassen sich überwiegend nur geringe Unterschiede nachweisen, die aufgrund der Streuung keine Tendenz erkennen lassen. Insbesondere bei den Muskelquerschnittflächen, die in den Reliabilitätsuntersuchungen die größten ICC-Koeffizienten erzielten und damit am aussagekräftigsten sind, lassen sich nur kleine Differenzen nachweisen. Bei den Längs- und Querdurchmessern liegen meist größere Differenzen vor, sie sind wegen der schlechteren ICC-Koeffizienten allerdings nicht so reliabel.

4.2.3 Geschlechtsunterschiede der Muskelgrößen

Nachdem alle vermessenen Muskelparameter auf Seitenunterschiede geprüft wurden, wurden die entsprechenden Werte beider Gesichtsseiten gemeinsam betrachtet. Es wurde ein Mittelwert aus den Messwerten der entsprechenden Muskeln beider Gesichtsseiten ermittelt und anschließend mit Hilfe eines t-Tests auf Geschlechtsunterschiede untersucht.

Tabelle 13: t-Test zu Unterschieden der geschlechtsspezifischen Muskelgrößen in Ruhe
(MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, CI=Konfidenzintervall)

Geschlechtsunterschiede der Muskelgrößen in Ruhe										
Muskel	n	Frauen			n	Männer			p-Wert	
		MW	SD	95% CI		MW	SD	95% CI	Männer vs. Frauen	
M. mentalis Fläche (mm ²)	18	38,530	11,940	[34,49; 42,56]	20	45,840	15,070	[41,03; 50,66]	0,023	
M. mentalis LDM (mm)	18	11,650	2,390	[10,84; 12,46]	20	11,960	2,390	[11,20; 12,73]	0,566	
M. mentalis QDM (mm)	18	5,040	1,120	[4,67; 5,42]	20	5,930	1,810	[5,35; 6,51]	0,014	
M. depressor anguli oris Fläche (mm ²)	18	32,390	12,030	[28,32; 36,46]	20	43,050	11,960	[39,22; 46,88]	0,037	
M. depressor anguli oris LDM (mm)	18	11,440	1,670	[10,87; 12,00]	20	13,830	2,100	[13,16; 14,50]	<0,001	
M. depressor anguli oris QDM (mm)	18	4,080	1,170	[3,68; 4,47]	20	4,530	1,150	[4,17; 4,90]	0,090	
M. depressor labii inferioris Fläche (mm ²)	18	26,650	8,260	[23,86; 29,44]	20	29,980	9,970	[26,79; 33,17]	0,120	
M. depressor labii inferioris LDM (mm)	18	10,220	2,570	[9,35; 11,09]	20	10,410	2,380	[9,65; 11,17]	0,741	
M. depressor labii inferioris QDM (mm)	18	3,810	0,870	[3,51; 4,11]	20	4,060	1,030	[3,73; 4,39]	0,260	
M. zygomaticus major Fläche (mm ²)	18	65,300	17,770	[59,29; 71,31]	20	79,370	27,970	[70,42; 88,31]	0,012	
M. zygomaticus major LDM (mm)	18	15,620	2,760	[14,69; 16,56]	20	17,400	2,580	[16,58; 18,23]	0,005	
M. zygomaticus major QDM (mm)	18	6,860	1,640	[6,31; 7,42]	20	7,170	1,660	[6,64; 7,70]	0,418	
M. temporalis QDM (mm)	18	16,350	2,100	[15,64; 17,06]	20	16,610	1,720	[16,07; 17,16]	0,543	
M. masseter QDM (mm)	18	12,170	1,710	[11,59; 12,74]	20	13,250	2,130	[12,57; 13,93]	0,017	
M. orbicularis oculi QDM (mm)	18	0,940	0,170	[0,88; 0,99]	20	1,210	0,290	[1,12; 1,30]	<0,001	
M. frontalis QDM (mm)	18	2,870	0,540	[2,69; 3,05]	20	2,450	0,640	[2,25; 2,66]	0,003	
M. orbicularis oris QDM (mm)	18	2,280	0,380	[2,15; 2,40]	20	2,590	0,530	[2,42; 2,76]	0,005	

In **Tabelle 13** sind die Muskelgrößen in Ruhe aufgetrennt nach Geschlecht dargestellt. Es zeigten sich deutliche geschlechtsspezifische Unterschiede der Muskelgrößen. Für den M. mentalis zeigten sich signifikant größere Mittelwerte bei den Männern gegenüber den Frauen bei der Fläche und dem QDM. Auch der Mittelwert des LDM war bei den Männern größer, zeigte jedoch kein signifikantes Ergebnis im t-Test (p=0,566). Auch für den M. depressor anguli oris und den M. zygomaticus major zeigten sich signifikant größere Mittelwerte bei den Flächen und den LDM bei den Männern gegenüber den Frauen. Auch die Mittelwerte der QDM waren bei den Männern größer, zeigten aber ebenfalls kein signifikantes Ergebnis (M. depressor anguli oris: p=0,090; M. zygomaticus major: p=0,418). Für die Muskeln, bei denen nur der QDM bestimmt wurde, zeigten sich mit Ausnahme des M. frontalis signifikant größere Mittelwerte bei den Männern. Der Mittelwert des M. frontalis war bei den Frauen signifikant größer als bei den Männern (♀=2,870 mm; ♂=2,450 mm, p=0,003). Für den M. temporalis und den M. depressor labii inferioris

ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern finden. Die Mittelwerte der Muskelparameter waren aber auch hier bei den Männern größer als bei den Frauen.

Tabelle 14: t-Test zu Unterschieden der geschlechtsspezifischen Muskelgrößen in Kontraktion (MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, CI=Konfidenzintervall)

Geschlechtsunterschiede der Muskelgrößen in Kontraktion										
Muskel	n	Frauen			n	Männer			p-Wert	
		MW	SD	95% CI		MW	SD	95% CI	Männer vs. Frauen	
M. mentalis Fläche (mm²)	18	46,370	11,030	[42,64; 50,11]	20	46,920	15,990	[51,80; 62,03]	0,001	
M. mentalis LDM (mm)	18	11,650	2,140	[10,93; 12,38]	20	13,120	2,000	[12,48; 13,75]	0,003	
M. mentalis QDM (mm)	18	5,590	1,260	[5,17; 6,02]	20	6,580	1,410	[6,13; 7,03]	0,002	
M. depressor anguli oris Fläche (mm²)	18	46,710	53,210	[28,71; 64,72]	20	47,030	12,250	[43,12; 50,95]	0,970	
M. depressor anguli oris LDM (mm)	18	12,010	2,980	[11,00; 13,02]	20	14,110	2,480	[13,31; 14,90]	0,001	
M. depressor anguli oris QDM (mm)	18	4,370	0,950	[4,05; 4,69]	20	4,860	1,090	[4,51; 5,21]	0,042	
M. depressor labii inferioris Fläche (mm²)	18	29,080	7,800	[26,44; 31,72]	20	31,440	10,550	[28,07; 34,82]	0,275	
M. depressor labii inferioris LDM (mm)	18	9,830	1,810	[9,22; 10,44]	20	10,340	1,920	[9,72; 10,95]	0,239	
M. depressor labii inferioris QDM (mm)	18	4,220	0,830	[3,94; 4,51]	20	4,250	1,080	[3,90; 4,59]	0,903	
M. zygomaticus major Fläche (mm²)	18	86,340	25,120	[77,84; 94,84]	20	105,320	35,520	[93,95; 116,68]	0,010	
M. zygomaticus major LDM (mm)	18	18,030	3,300	[16,92; 19,15]	20	19,580	3,360	[18,51; 20,66]	0,047	
M. zygomaticus major QDM (mm)	18	7,500	1,760	[6,91; 8,09]	20	8,260	1,960	[7,63; 8,88]	0,082	
M. temporalis QDM (mm)	18	16,810	2,010	[16,13; 17,49]	20	17,160	1,740	[16,60; 17,72]	0,414	
M. masseter QDM (mm)	18	13,690	2,110	[12,97; 14,40]	20	14,310	2,160	[13,62; 15,00]	0,205	
M. orbicularis oculi QDM (mm)	18	0,770	0,170	[0,71; 0,82]	20	1,010	0,280	[0,92; 1,10]	<0,001	
M. frontalis QDM (mm)	18	3,560	0,770	[3,30; 3,81]	20	3,240	0,930	[2,94; 3,54]	0,117	
M. orbicularis oris QDM (mm)	18	2,570	0,550	[2,39; 2,76]	20	2,830	0,500	[2,67; 2,99]	0,036	

In **Tabelle 14** sind die Muskelgrößen in Kontraktion dargestellt. Auch hier zeigten sich signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede der Muskelparameter. Für den M. mentalis waren die Mittelwerte aller Parameter bei den Männern signifikant größer als bei den Frauen. Ebenso beim M. zygomaticus major waren alle Parameter bei den Männern größer, einzig der Unterschied der QDM wurde nicht statistisch signifikant ($p=0,082$). Für den M. depressor anguli oris waren ebenfalls alle Parameter bei den Männern größer als bei den Frauen, allerdings zeigte hier die Fläche kein signifikantes Ergebnis ($p=0,970$). Für den M. depressor labii inferioris konnten keine signifikanten Geschlechtsunterschiede gefunden werden, aber auch hier waren die Mittelwerte bei den Männern größer. Bei den Muskeln, bei denen nur der QDM bestimmt wurde, fanden sich beim M. orbicularis oculi und dem M. orbicularis oris signifikante Unterschiede mit größeren Mittelwerten bei den Männern gegenüber den Frauen. Beim M. temporalis ($p=0,414$) und M. masseter ($p=0,205$) waren die Mittelwerte bei den Männern ebenfalls größer als bei den Frauen. Beim M. frontalis ($p=0,117$) war der Mittelwert bei den Frauen größer, als bei den Männern.

Tabelle 15: t-Test zu Unterschieden der geschlechtsspezifischen Kontraktilität
(MW=Mittelwert der Kontraktilität, SD=Standardabweichung, CI=Konfidenzintervall)

Geschlechtsunterschiede der Muskeldynamik in %									
Muskel	n	Frauen			n	Männer			Frauen vs. Männer p-Wert
		MW	SD	95% CI		MW	SD	95% CI	
M. mentalis Fläche (%)	18	15,340	21,480	[8,08; 22,61]	20	19,190	13,690	[14,82; 23,57]	0,349
M. mentalis LDM (%)	18	-2,870	27,710	[-12,25; 6,50]	20	8,230	16,070	[3,09; 13,37]	0,034
M. mentalis QDM (%)	18	6,730	22,630	[-0,93; 14,35]	20	9,830	17,420	[4,26; 15,40]	0,503
M. depressor anguli Fläche (%)	18	16,440	19,360	[9,89; 23,00]	20	7,670	15,450	[2,73; 12,61]	0,032
M. depressor anguli LDM (%)	18	-25,710	188,020	[-89,32; 37,91]	20	0,680	13,670	[-3,69; 5,06]	0,379
M. depressor anguli QDM (%)	18	5,760	20,180	[-1,07; 12,59]	20	5,270	22,180	[-1,82; 12,37]	0,921
M. depressor labii inferioris Fläche (%)	18	7,230	19,270	[0,71; 13,75]	20	2,830	17,970	[-2,92; 8,58]	0,307
M. depressor labii inferioris LDM (%)	18	-6,080	27,910	[-15,33; 3,36]	20	-1,290	19,220	[-7,43; 4,86]	0,382
M. depressor labii inferioris QDM (%)	18	7,710	21,080	[0,57; 14,84]	20	1,790	22,730	[-5,48; 9,05]	0,244
M. zygomaticus major Fläche (%)	18	22,320	14,050	[17,56; 27,07]	20	22,160	17,900	[16,44; 27,89]	0,967
M. zygomaticus major LDM (%)	18	11,620	18,060	[5,51; 17,73]	20	9,670	15,710	[4,96; 14,37]	0,605
M. zygomaticus major QDM (%)	18	6,250	20,660	[-0,74; 13,24]	20	11,610	15,810	[6,55; 16,66]	0,206
M. temporalis QDM (%)	18	2,790	3,480	[1,61; 3,97]	20	3,070	4,730	[1,56; 4,58]	0,769
M. masseter QDM (%)	18	10,700	6,430	[8,53; 12,88]	20	7,280	6,720	[5,14; 9,43]	0,027
M. orbicularis oculi QDM (%)	18	-26,040	25,260	[-34,58; -17,49]	20	-22,210	15,050	[-27,03; -17,40]	0,420
M. frontalis QDM (%)	18	18,070	11,110	[14,31; 21,83]	20	23,390	10,800	[19,93; 26,84]	0,038
M. orbicularis oris QDM (%)	18	9,610	15,770	[4,27; 14,94]	20	8,240	12,440	[4,26; 12,22]	0,679

Um die dynamischen Eigenschaften der Muskulatur beurteilen zu können, wurde die prozentuale Differenz zwischen den Muskelgrößen in Ruhe und Kontraktion der einzelnen Muskeln berechnet. In **Tabelle 15** sind die Mittelwerte der Kontraktilität in Prozent aufgezeigt. Hier ergaben sich nur teilweise signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede. Für den M. mentalis zeigten sich für die Fläche sowie die Durchmesser bei den Männern prozentual größere Differenzen zwischen den Werten in Ruhe und Kontraktion als bei den Frauen. Nur für den LDM (♀=-2,870 %; ♂=8,230%; p=0,034) ergab sich ein signifikantes Ergebnis. Für den M. depressor anguli oris und den M. depressor labii inferioris war die prozentuale Differenz der Parameter bei den Frauen größer als bei den Männern, wobei sich nur für die Fläche des M. depressor anguli oris (♀=16,440 %; ♂=7,670 %; p=0,032) ein signifikantes Ergebnis zeigte. Für den M. zygomaticus major waren die prozentualen Differenzen der einzelnen Parameter zwischen Männern und Frauen relativ ausgeglichen, es ergaben sich keine signifikanten Ergebnisse. Für den M. orbicularis oculi und den M. orbicularis oris war die prozentuale Differenz bei den Frauen größer als bei den Männern. Für den M. frontalis war umgekehrt die Differenz bei den Männern größer als bei den Frauen, hier ergab sich sogar ein statistisch signifikantes Ergebnis (♀=18,070 %; ♂=23,390 %; p=0,038). Beim M. masseter zeigte sich ebenfalls ein signifikantes Ergebnis, wobei die Differenz bei den Frauen größer war als bei den Männern (♀=10,700 %; ♂=7,280 %; p=0,027). Für den M. temporalis war

die prozentuale Differenz bei den Männern größer als bei den Frauen, es ergab sich kein signifikantes Ergebnis.

Zu großen Teilen decken sich die ermittelten geschlechtsspezifischen Unterschiede der Muskelgrößen in Ruhe und Kontraktion sowie der Kontraktilität bei Patienten mit M. Parkinson mit den geschlechtsspezifischen Unterschieden bei gesunden Probanden (Volk 2014a). Die Unterschiede der ermittelten Werte zu den Referenzwerten in der Kontraktion können über die Unterschiede in der Kontraktilität erklärt werden. Diese ergeben sich möglicherweise aus den etwas höheren Punktzahlen im MDS-UPDRS III bei den Männern gegenüber den Frauen.

4.2.4 Vergleich der Muskelgrößen und Dynamik mit Referenzwerten

Um die Veränderungen der mimischen Muskulatur bei Patienten mit M. Parkinson besser beschreiben zu können, wurden die erhobenen Messwerte in Ruhe, Kontraktion sowie die Kontraktilität mit den veröffentlichten Referenzwerten gesunder Probanden mit Hilfe eines t-Tests verglichen (Volk 2014a).

Tabelle 16: Vergleich der Muskelgrößen in Ruhe mit Referenzwerten gesunder Probanden
(MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, p-Wert Patienten vs. Referenz)

Vergleich der Muskelgrößen mit Referenzwerten in Ruhe																
		Frauen							Männer							
		Patienten				Referenz		p-Wert		Patienten				Referenzwerte		p-Wert
Muskel	n	MW	SD	n	MW	SD		n	MW	SD	n	MW	SD			
M. mentalis Fläche (mm²)	18	38,530	11,940	70	52,570	15,650	0,001	20	45,840	15,070	70	61,770	17,460	<0,001		
M. mentalis LDM (mm)	18	11,650	2,390	70	13,500	2,240	0,003	20	11,960	2,390	70	14,870	2,420	<0,001		
M. mentalis QDM (mm)	18	5,040	1,120	70	5,880	1,140	0,006	20	5,930	1,810	70	6,700	1,720	0,084		
M. depressor anguli oris Fläche (mm²)	18	32,390	12,030	70	40,360	11,800	0,013	20	43,050	11,960	70	53,870	15,230	0,004		
M. depressor anguli oris LDM (mm)	18	11,440	1,670	70	13,520	2,050	<0,001	20	13,830	2,100	70	15,640	2,500	0,004		
M. depressor anguli oris QDM (mm)	18	4,080	1,170	70	4,430	1,080	0,231	20	4,530	1,150	70	4,960	1,120	0,136		
M. depressor labii inferioris Fläche (mm²)	18	26,650	8,260	70	42,530	12,220	<0,001	20	29,980	9,970	70	47,660	16,760	<0,001		
M. depressor labii inferioris LDM (mm)	18	10,220	2,570	70	13,030	2,000	<0,001	20	10,410	2,380	70	14,320	2,930	<0,001		
M. depressor labii inferioris QDM (mm)	18	3,810	0,870	70	4,410	0,940	0,016	20	4,060	1,030	70	4,690	1,250	0,042		
M. zygomaticus major Fläche (mm²)	18	65,300	17,770	70	73,390	24,770	0,197	20	79,370	27,970	70	61,250	24,520	0,005		
M. zygomaticus major LDM (mm)	18	15,620	2,760	70	14,730	2,790	0,230	20	17,400	2,580	70	14,750	2,990	0,001		
M. zygomaticus major QDM (mm)	18	6,860	1,640	70	6,870	1,360	0,979	20	7,170	1,660	70	5,910	1,380	<0,001		
M. temporalis QDM (mm)	18	16,350	2,100	70	20,300	2,310	<0,001	20	16,610	1,720	70	21,730	2,200	<0,001		
M. masseter QDM (mm)	18	12,170	1,710	70	14,440	2,180	0,015	20	13,250	2,130	70	15,690	2,390	<0,001		
M. orbicularis oculi QDM (mm)	18	0,940	0,170	70	0,840	0,190	0,045	20	1,210	0,290	70	1,000	0,250	0,002		
M. frontalis QDM (mm)	18	2,870	0,540	70	2,880	0,680	0,954	20	2,450	0,640	70	2,350	0,790	0,605		
M. orbicularis oris QDM (mm)	18	2,280	0,380	70	2,680	0,610	<0,001	20	2,590	0,530	70	2,820	0,580	0,115		

In **Tabelle 16** sind die Muskelgrößen in Ruhe der Patienten und die Referenzwerte der gesunden Probanden dargestellt. Es zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Gruppen. Bei den Frauen waren die Werte für die Fläche und die Durchmesser für den M. mentalis, den M. depressor anguli oris und den M.

depressor labii inferioris bei den Patienten kleiner als bei den gesunden Probanden. Mit Ausnahme des QDM des M. depressor anguli oris ($p=0,231$) zeigten sich überall signifikante Ergebnisse. Auch für den M. zygomaticus major waren die Werte bis auf den LDM (Patienten=15,620 mm; Probanden=14,730 mm; $p=0,230$) bei den Patienten kleiner als bei den gesunden Probanden, allerdings ergab sich bei keinem der Parameter ein signifikantes Ergebnis. Für die Muskeln, bei denen nur der Durchmesser bestimmt wurde, waren bis auf den M. orbicularis oculi (Patienten=0,940 mm, Probanden=0,840 mm; $p=0,045$) die Durchmesser bei den Patienten gegenüber den Probanden signifikant kleiner. Bei den Männern ergab sich ein ähnliches Bild. Für den M. mentalis, den M. depressor anguli oris und den M. depressor labii inferioris waren alle Parameter bei den Patienten kleiner als bei den gesunden Probanden. Mit Ausnahme der LDM des M. mentalis ($p=0,084$) und des M. depressor anguli oris ($p=0,136$) zeigte sich für alle Messwerte ein signifikantes Ergebnis. Beim M. zygomaticus major zeigte sich ein umgekehrtes Bild. Hier waren alle gemessenen Parameter bei den Patienten signifikant größer gegenüber den Referenzwerten der gesunden Probanden. Für den M. temporalis, M. masseter und M. orbicularis oris waren die Mittelwerte der Durchmesser bei den Patienten gegenüber den Probanden kleiner. Bis auf den Durchmesser des M. orbicularis oris ($p=0,115$) ergaben sich jeweils signifikante Unterschiede. Beim M. orbicularis oculi (Patienten=1,210 mm; Probanden=1,000 mm; $p=0,002$) und dem M. frontalis (Patienten=2,450 mm; Probanden=2,350 mm; $p=0,605$) waren die Mittelwerte bei den Patienten größer im Vergleich zu den Probanden, wobei sich lediglich für den M. orbicularis oculi ein signifikantes Ergebnis zeigte.

Tabelle 17: Vergleich der Muskelgrößen in Kontraktion mit Referenzwerten gesunder Probanden
(MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, p-Wert Patienten vs. Referenz)

Vergleich der Muskelgrößen mit Referenzwerten in Kontraktion																
		Patienten				Referenz		p-Wert		Patienten				Referenz		p-Wert
Muskel	n	MW	SD	n	MW	SD			n	MW	SD	n	MW	SD		
M. mentalis Fläche (mm²)	18	46,370	11,030	70	60,680	16,280	0,001	20	46,920	15,990	70	79,400	20,450	<0,001		
M. mentalis LDM (mm)	18	11,650	2,140	70	13,740	2,280	0,001	20	13,120	2,000	70	15,510	2,300	<0,001		
M. mentalis QDM (mm)	18	5,590	1,260	70	6,350	1,300	0,029	20	6,580	1,410	70	7,290	1,600	0,076		
M. depressor anguli oris Fläche (mm²)	18	46,710	53,210	70	56,130	18,980	0,224	20	47,030	12,250	70	68,590	21,920	<0,001		
M. depressor anguli oris LDM (mm)	18	12,010	2,980	70	14,290	2,440	0,001	20	14,110	2,480	70	16,040	2,650	0,005		
M. depressor anguli oris QDM (mm)	18	4,370	0,950	70	5,270	1,350	0,009	20	4,860	1,090	70	5,780	1,420	0,009		
M. depressor labii inferioris Fläche (mm²)	18	29,080	7,800	70	51,980	16,200	<0,001	20	31,440	10,550	70	58,380	22,690	<0,001		
M. depressor labii inferioris LDM (mm)	18	9,830	1,810	70	13,530	2,200	<0,001	20	10,340	1,920	70	14,700	2,510	<0,001		
M. depressor labii inferioris QDM (mm)	18	4,220	0,830	70	4,880	1,020	0,013	20	4,250	1,080	70	5,110	1,310	0,009		
M. zygomaticus major Fläche (mm²)	18	86,340	25,120	70	122,840	36,110	<0,001	20	105,320	35,520	70	107,930	34,860	0,769		
M. zygomaticus major LDM (mm)	18	18,030	3,300	70	17,830	3,240	0,817	20	19,580	3,360	70	18,650	3,710	0,316		
M. zygomaticus major QDM (mm)	18	7,500	1,760	70	6,680	1,810	0,088	20	8,260	1,960	70	8,470	2,240	0,787		
M. temporalis QDM (mm)	18	16,810	2,010	70	20,780	2,300	<0,001	20	17,160	1,740	70	22,070	2,330	<0,001		
M. masseter QDM (mm)	18	13,690	2,110	70	15,580	2,210	0,002	20	14,310	2,160	70	17,270	2,690	<0,001		
M. orbicularis oculi QDM (mm)	18	0,770	0,170	70	1,130	0,210	<0,001	20	1,010	0,280	70	1,350	0,330	<0,001		
M. frontalis QDM (mm)	18	3,560	0,770	70	3,900	0,980	0,176	20	3,240	0,930	70	3,300	0,870	0,789		
M. orbicularis oris QDM (mm)	18	2,570	0,550	70	3,810	0,690	<0,001	20	2,830	0,500	70	4,200	0,700	<0,001		

Auch beim Vergleich der Muskelgrößen in Kontraktion (**Tabelle 17**) zeichnete sich ein ähnliches Bild ab. Bei den Frauen waren für die Muskeln bei denen auch die Fläche bestimmt wurde alle Parameter mit Ausnahme des LDM des M. zygomaticus major (Patienten=18,030 mm; Probanden=17,830 mm; p=0,817) bei den Patienten kleiner als bei den Probanden. Für alle Parameter mit Ausnahme der Fläche des M. depressor anguli oris (p=0,224) sowie dem LDM (p=0,817) und dem QDM (p=0,088) des M. zygomaticus major zeigten sich signifikante Ergebnisse. Für die Muskeln, bei denen nur der Durchmesser bestimmt wurde, waren alle Werte für die Patienten signifikant kleiner als bei den gesunden Probanden mit Ausnahme des M. frontalis (p=0,176). Bei den Männern waren alle Parameter für den M. depressor anguli oris und den M. depressor labii inferioris signifikant kleiner als bei gesunden Probanden. Auch für den M. mentalis waren alle Parameter bis auf den QDM (p=0,076) signifikant kleiner als die Referenzwerte. Für den M. zygomaticus major ergaben sich für die Fläche (p=0,769) und den QDM (p=0,787) kleinere Werte, für den LDM (p=0,316) größere Werte als bei gesunden Probanden. Bei keinem der Parameter zeigte sich ein signifikantes Ergebnis. Für die Muskeln, bei denen nur der QDM bestimmt wurde, waren alle Werte mit Ausnahme des M. frontalis (p=0,789) signifikant kleiner als bei gesunden Probanden.

Tabelle 18: Vergleich der Kontraktilität mit Referenzwerten gesunder Probanden
(MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, p-Wert Patienten vs. Referenz)

Vergleich der Muskeldynamik mit Referenzwerten in %														
		Frauen						Männer						
		Patienten			Referenz		p-Wert		Patienten			Referenzwerte		p-Wert
Muskel	n	MW	SD	n	MW	SD		n	MW	SD	n	MW	SD	
M. mentalis Fläche (%)	18	15,340	21,480	70	18,730	33,820	0,687	20	19,190	13,690	70	21,360	27,040	0,743
M. mentalis LDM (%)	18	-2,870	27,710	70	2,010	14,780	0,310	20	8,230	16,070	70	4,920	13,280	0,369
M. mentalis QDM (%)	18	6,730	22,630	70	9,010	19,150	0,665	20	9,830	17,420	70	11,220	24,110	0,819
M. depressor anguli oris Fläche (%)	18	16,440	19,360	70	41,730	36,440	0,006	20	7,670	15,450	70	28,210	22,570	<0,001
M. depressor anguli oris LDM (%)	18	-25,710	188,020	70	5,790	11,930	0,161	20	0,680	13,670	70	2,520	14,900	0,636
M. depressor anguli oris QDM (%)	18	5,760	20,180	70	21,650	25,400	0,016	20	5,270	22,180	70	18,560	25,600	0,047
M. depressor labii inferioris Fläche (%)	18	7,230	19,270	70	24,830	30,700	0,023	20	2,830	17,970	70	25,270	26,210	0,001
M. depressor labii inferioris LDM (%)	18	-6,080	27,910	70	4,540	14,220	0,026	20	-1,290	19,220	70	4,050	16,700	0,244
M. depressor labii inferioris QDM (%)	18	7,710	21,080	70	11,770	18,210	0,416	20	1,790	22,730	70	10,040	32,450	0,313
M. zygomaticus major Fläche (%)	18	22,320	14,050	70	78,830	54,920	<0,001	20	22,160	17,900	70	90,430	57,110	<0,001
M. zygomaticus major LDM (%)	18	11,620	18,060	70	23,960	24,970	0,053	20	9,670	14,710	70	29,690	24,600	0,001
M. zygomaticus major QDM (%)	18	6,250	20,660	70	31,170	29,170	0,001	20	11,610	15,810	70	48,190	38,000	<0,001
M. temporalis QDM (%)	18	2,790	3,480	70	2,480	3,390	0,732	20	3,070	4,730	70	1,440	6,705	0,313
M. masseter QDM (%)	18	10,700	6,430	70	8,320	6,230	0,286	20	7,280	6,720	70	10,320	6,830	0,095
M. orbicularis oculi QDM (%)	18	-26,040	25,260	70	40,820	27,380	<0,001	20	-22,210	15,050	70	37,530	27,860	<0,001
M. frontalis QDM (%)	18	18,070	11,110	70	36,840	20,640	<0,001	20	23,390	10,800	70	46,280	29,400	0,002
M. orbicularis oris QDM (%)	18	9,610	15,770	70	47,910	31,280	<0,001	20	8,240	12,440	70	54,320	30,400	<0,001

In **Tabelle 18** wurde die Kontraktilität, das heißt die prozentuale Differenz der Muskelgrößen in Ruhe und Kontraktion berechnet und mit den Referenzwerten gesunder Probanden verglichen. Bei den Frauen war für den M. depressor anguli oris, den M. depressor labii inferioris und den M. zygomaticus major mit Ausnahme des LDM des M. depressor anguli oris (Patienten=-25,170 %; Probanden=5,790 %; p=0,161), des LDM des M. zygomaticus major (Patienten=11,620 %; Probanden=23,960 %; p=0,053) sowie des QDM des M. depressor labii inferioris (Patienten=7,710 %; Probanden=11,77 %; p=0,416) die Kontraktilität signifikant schlechter als bei der Referenzgruppe. Für den LDM des M. depressor anguli oris ergab sich zwar ein signifikantes Ergebnis, allerdings war hier die Dynamik bei den Patienten größer als bei gesunden Probanden. Für den M. mentalis war bis auf den LDM die Dynamik geringer als bei gesunden Probanden, es ergaben sich jedoch keine signifikanten Ergebnisse. Für die Muskeln, bei denen nur der QDM bestimmt wurde, war die Dynamik signifikant kleiner als bei gesunden Probanden. Bei den Kaumuskeln zeigte sich eine gering bessere Dynamik als bei gesunden Probanden, die aber nicht signifikant wurde. Bei den Männern zeigte sich ein ähnliches Bild. Für den M. depressor anguli oris, den M. depressor labii inferioris und den M. zygomaticus major war mit Ausnahme des LDM des M. depressor anguli oris (Patienten=0,680 %; Probanden=2,520 %; p=0,636) sowie des QDM (Patienten=1,790 %; Probanden=10,040 %; p=0,313) und des LDM des M. depressor labii inferioris (Patienten=-1,290 %; Probanden=4,050 %; p=0,244) die

Kontraktilität signifikant schlechter als bei der Referenzgruppe. Für den M. mentalis war bis auf den LDM die Dynamik geringer als bei gesunden Probanden, es ergaben sich jedoch keine signifikanten Ergebnisse. Für die Muskeln, bei denen nur der QDM bestimmt wurde, war die Dynamik signifikant kleiner als bei gesunden Probanden. Bei den Kaumuskeln zeigte sich nur für den M. temporalis eine gering bessere Dynamik, es ergab sich aber genau wie für den M. masseter kein signifikantes Ergebnis.

Zusätzlich fällt bei den Daten auf, dass die Dynamik des M. orbicularis oculi sowohl bei Männern als auch bei Frauen in einem deutlich negativen Bereich liegt (♀ = -26,040 %; ♂ = -22,120%). Das heißt, dass bei dem Muskel während der Kontraktion ein geringerer Durchmesser gemessen wurde, im Gegensatz zu den Messwerten der gesunden Probanden, bei denen die Kontraktilität positive Werte ergibt und damit bei dem Muskel in Kontraktion ein größerer Durchmesser vermessen wurde.

4.3 Grauwerte

Zusätzlich zur Fläche und den Durchmessern wurden die Grauwerte der Muskeln erhoben. Dazu wurde von jedem Muskel die auf dem Ultraschallbild sichtbare Fläche umrandet und die von der Auswertungssoftware ausgegebenen Grauwerte (Minimum, Maximum, mittlerer Grauwert und Standardabweichung) erhoben. In den folgenden Tabellen wurden die mittleren Grauwerte beider Gesichtsseiten mittels eines t-Tests verglichen.

Ergebnisse

Tabelle 19: Seitenvergleich der Grauwerte bei Frauen in Ruhe und Kontraktion
(mean= mittlerer Grauwert; SD=Standardabweichung)

Grauwerte Frauen										
Muskel	Ruhe					Kontraktion				
	links		rechts		p-Wert	links		rechts		p-Wert
	mean	SD	mean	SD	li vs. re	mean	SD	mean	SD	li vs. re
M. mentalis	46,460	12,700	44,620	13,700	0,215	35,480	11,420	34,570	12,410	0,472
M. depressor anguli oris	68,570	20,250	68,940	21,020	0,811	61,830	19,700	62,300	20,940	0,811
M. depressor labii inferioris	80,550	15,950	79,950	16,850	0,983	67,630	16,560	64,810	15,720	0,711
M. zygomaticus major	78,920	20,440	75,450	19,540	0,396	74,300	21,690	67,680	20,620	0,122
M. temporalis	103,510	17,410	106,700	18,840	0,983	95,910	18,020	93,970	19,200	0,557
M. masseter	75,650	22,820	85,910	25,200	0,007	74,510	22,280	86,500	24,790	0,003
M. orbicularis oculi	83,000	28,690	78,950	28,230	0,157	83,360	29,240	79,450	27,190	0,231
M. frontalis	115,140	14,290	114,820	16,670	0,586	113,930	14,230	114,180	15,330	0,845
M. orbicularis oris	68,720	19,580	74,390	19,000	0,035	54,600	17,750	61,940	17,500	0,043

In **Tabelle 19** sind die Grauwerte der Muskeln in Ruhe und Kontraktion bei den Frauen im Seitenvergleich dargestellt. Sowohl in Ruhe als auch in Kontraktion ergeben sich mit Ausnahme des M. masseter (Ruhe p=0,007; Kontraktion p=0,003) und des M. orbicularis oculi (Ruhe p=0,036; Kontraktion p=0,003) keine signifikanten Seitenunterschiede. Die Grauwerte in Kontraktion zeigen, ebenfalls mit Ausnahme des M. masseter und des M. orbicularis oculi, kleinere Werte als in Ruhe.

Tabelle 20: : Seitenvergleich der Grauwerte bei Männern in Ruhe und Kontraktion
(mean= mittlerer Grauwert; SD=Standardabweichung)

Grauwerte Männer										
Muskel	Ruhe					Kontraktion				
	links		rechts		p-Wert	links		rechts		p-Wert
	mean	SD	mean	SD	li vs. re	mean	SD	mean	SD	li vs. re
M. mentalis	31,080	12,670	28,310	13,190	0,117	22,460	9,960	19,550	10,22	0,037
M. depressor anguli oris	50,590	113,320	43,890	18,850	0,037	45,800	17,730	40,300	16,88	0,156
M. depressor labii inferioris	58,830	15,140	45,830	15,050	0,014	49,780	14,870	41,590	13,62	0,052
M. zygomaticus major	64,100	19,220	63,370	17,880	0,970	58,320	18,410	55,280	18,35	0,332
M. temporalis	105,350	16,230	112,110	16,580	0,057	83,160	17,360	97,240	16,01	0,001
M. masseter	67,790	23,910	75,020	24,580	0,023	68,140	23,820	75,380	24,59	0,048
M. orbicularis oculi	54,010	26,930	55,020	27,560	0,709	54,990	27,590	51,530	26,29	0,126
M. frontalis	106,520	17,290	100,570	16,130	0,052	108,060	16,750	99,330	15,76	0,040
M. orbicularis oris	28,150	20,170	56,000	19,620	0,502	41,810	18,220	40,340	18,48	0,794

In **Tabelle 20** sind die Grauwerte der Muskeln in Ruhe und Kontraktion bei den Männern im Seitenvergleich dargestellt. In Ruhe ergeben sich für den M. depressor anguli oris ($p=0,037$), den M. depressor labii inferioris ($p=0,014$) und den M. masseter ($p=0,023$) signifikante Seitenunterschiede. In Kontraktion zeigen sich für den M. mentalis ($p=0,037$), den M. temporalis ($p=0,001$), den M. masseter ($p=0,048$) sowie den M. frontalis ($p=0,040$) signifikante Seitenunterschiede. Die Grauwerte in Kontraktion zeigen, mit Ausnahme des M. masseter sowie des M. frontalis und des M. orbicularis oculi der linken Seite, kleinere Werte als in Ruhe.

Tabelle 21: : Seitenvergleich Grauwerte bei Patienten mit klinischer Seitenbetonung in Ruhe und Kontraktion

(mean= mittlerer Grauwert; SD=Standardabweichung; p-Wert betonte Seite vs. nicht betonte Seite)

Grauwerte Patienten mit Seitenbetonung										
Muskel	Ruhe					Kontraktion				
	betonte Seite		nicht betonte Seite		p-Wert	betonte Seite		nicht betonte Seite		p-Wert
	mean	SD	mean	SD		mean	SD	mean	SD	
M. mentalis	29,660	11,130	31,290	10,580	0,959	37,130	13,640	37,240	12,93	0,508
M. depressor anguli oris	56,770	19,660	60,880	20,770	0,445	60,500	20,370	64,100	20,62	0,333
M. depressor labii inferioris	62,210	15,720	65,050	16,700	0,799	70,280	16,770	73,450	15,69	0,959
M. zygomaticus major	68,020	19,280	69,860	19,650	0,878	73,140	18,360	73,760	19,2	0,445
M. temporalis	98,220	15,640	94,540	18,020	0,799	110,470	16,280	112,110	17,3	0,386
M. masseter	80,870	24,910	71,170	22,960	0,028	79,740	25,060	70,830	23,1	0,013
M. orbicularis oculi	65,090	27,270	71,870	27,790	0,520	65,370	27,690	70,480	27,27	0,627
M. frontalis	104,400	14,790	110,050	16,670	0,074	107,080	15,730	109,260	15,46	0,139
M. orbicularis oris	50,480	17,740	48,470	18,750	0,114	67,880	19,460	63,800	20,57	0,575

In **Tabelle 21** sind die Grauwerte der Patienten mit klinischer Seitenbetonung im Vergleich der betonten zur nicht betonten Seite dargestellt. Mit Ausnahme des M. masseter (Ruhe $p=0,028$; Kontraktion $p=0,013$) ergeben sich keine signifikanten Seitenunterschiede. Die Grauwerte in Kontraktion zeigen höhere Werte, als in Ruhe.

4.4 Korrelation

4.4.1 Korrelation mit biometrischen Merkmalen

Es wurde der Einfluss von Körpergröße, Körpergewicht, BMI, Kopfumfang, bizygomatischem Abstand (Breite) und mentomentaler Länge (Länge) auf die Muskelquerschnittflächen bzw. den QDM überprüft. Die Korrelationskoeffizienten

nach Spearman sind in den folgenden Tabellen (Tabelle 22 und Tabelle 23) farblich kodiert dargestellt.

Tabelle 22: Korrelation nach Spearman der Muskelgrößen mit biometrischen Parametern der Frauen

(r_s Korrelationskoeffizient nach Spearman, BMI = Body-Mass-Index, Breite = bitygomatischer Abstand, Länge= mentomentale Länge)

Korrelation der Muskelgrößen mit biometrischen Parametern Frauen							
Muskel	n	r_s Körpergröße	r_s Gewicht	r_s BMI	r_s Kopfumfang	r_s Breite	r_s Länge
M. mentalis (mm ²)	18	-0,193 (0,442)	0,254 (0,308)	0,337 (0,171)	-0,073 (0,775)	-0,051 (0,841)	-0,202 (0,423)
M. depressor anguli oris (mm ²)	18	-0,340 (0,168)	0,161 (0,522)	0,206 (0,233)	-0,003 (0,989)	-0,269 (0,280)	-0,133 (0,599)
M. depressor labii inferioris (mm ²)	18	-0,478 (0,045)	0,146 (0,563)	0,301 (0,225)	-0,356 (0,147)	-0,487 (0,041)	-0,302 (0,223)
M. zygomaticus major (mm ²)	18	-0,071 (0,792)	0,061 (0,809)	0,092 (0,718)	0,225 (0,370)	0,168 (0,506)	0,103 (0,686)
M. temporalis (mm)	18	0,441 (0,067)	0,552 (0,018)	0,392 (0,107)	0,366 (0,135)	0,465 (0,052)	0,325 (0,188)
M. masseter (mm)	18	-0,439 (0,068)	0,199 (0,429)	0,387 (0,113)	-0,140 (0,580)	-0,181 (0,472)	-0,070 (0,782)
M. orbicularis oculi (mm)	18	0,226 (0,368)	-0,161 (0,523)	-0,257 (0,303)	0,100 (0,694)	0,341 (0,166)	0,068 (0,790)
M. frontalis (mm)	18	0,159 (0,528)	0,716 (0,001)	0,666 (0,003)	0,491 (0,039)	0,147 (0,560)	0,461 (0,054)
M. orbicularis oris (mm)	18	0,462 (0,053)	0,339 (0,169)	0,161 (0,523)	0,371 (0,130)	0,297 (0,231)	0,257 (0,303)
<0		0-0,2 sehr geringe	0,2-0,5 geringe	0,5-0,7 mittlere	0,7-0,9 hohe	>0,9 sehr hohe	

In **Tabelle 22** sind die Koeffizienten der Muskelparameter zu den biometrischen Merkmalen der Frauen dargestellt. Für die Körpergröße zeigte sich ein nur geringer Einfluss auf die Muskelgröße. Es ergaben sich Koeffizienten mit dem Betrag $\leq 0,478$ und damit eine geringe bis sehr geringe Korrelation. Für die Muskeln deren Fläche bestimmt wurde sowie den M. masseter ergab sich eine gering bis sehr gering negative Korrelation, das heißt dass mit steigender Körpergröße die Muskelquerschnittfläche bzw. der QDM abnimmt. Für die übrigen Muskeln ergaben sich sehr gering bis gering positive Korrelationen. Einzig beim M. depressor labii inferioris ergab sich ein signifikantes Ergebnis ($r_s=0,478$; $p=0,045$). Auch für das Gewicht ergaben sich mit Koeffizienten $\leq 0,339$ nur sehr geringe bis geringe Korrelationen. Für den M. temporalis ($r_s=0,552$; $p=0,018$) ergab sich eine mittel starke signifikante Korrelation und für den M. frontalis ($r_s=0,716$; $p=0,001$) sogar eine starke signifikante Korrelation. Der Einfluss des Gewichts spiegelt sich bei der Korrelation mit dem BMI wider. Mit Koeffizienten $\leq 0,392$ ergaben sich überwiegend geringe Korrelationen. Für den M. frontalis ($r_s=0,666$; $p=0,003$) ergab sich wiederum eine mittel starke signifikante Korrelation. Für die Maße des Gesichtes (Kopfumfang, bitygomatischer Abstand sowie mentomentale Länge) ergaben sich mit Koeffizienten $\leq 0,491$ nur geringe bis sehr geringe Korrelationen, die für den M. mentalis, M. depressor anguli oris, M. depressor labii inferioris und M. masseter negativ ausfallen. Für den M. frontalis ($r_s=0,491$; $p=0,039$) ergab sich eine geringe signifikante Korrelation zum Kopfumfang, für den M. depressor labii inferioris ($r_s=-0,487$; $p=0,041$) eine geringe negative signifikante Korrelation zum bitygomatischen Abstand.

Tabelle 23: Korrelation nach Spearman der Muskelgrößen mit biometrischen Parametern der Männer

(r_s Korrelationskoeffizient nach Spearman, BMI = Body-Mass-Index, Breite = bizygomatischer Abstand, Länge= mentomentale Länge)

Korrelation der Muskelgrößen mit biometrischen Parametern Männer							
Muskel	n	r_s Körpergröße	r_s Gewicht	r_s BMI	r_s Kopfumfang	r_s Breite	r_s Länge
M. mentalis (mm ²)	20	-0,039 (0,869)	0,313 (0,180)	0,323 (0,164)	0,404 (0,077)	0,663 (0,001)	0,255 (0,278)
M. depressor anguli oris (mm ²)	20	-0,200 (0,398)	0,097 (0,683)	0,162 (0,496)	0,150 (0,528)	0,671 (0,001)	0,497 (0,026)
M. depressor labii inferioris (mm ²)	20	0,002 (0,993)	-0,111 (0,641)	-0,094 (0,693)	0,130 (0,586)	0,457 (0,034)	0,246 (0,295)
M. zygomaticus major (mm ²)	20	-0,184 (0,437)	0,025 (0,918)	0,078 (0,743)	-0,101 (0,670)	0,524 (0,018)	0,107 (0,652)
M. temporalis (mm)	20	0,049 (0,836)	-0,019 (0,936)	-0,023 (0,925)	0,072 (0,763)	0,277 (0,237)	-0,162 (0,496)
M. masseter (mm)	20	-0,135 (0,571)	0,124 (0,604)	0,152 (0,522)	0,087 (0,715)	-0,078 (0,745)	0,124 (0,601)
M. orbicularis oculi (mm)	20	-0,216 (0,361)	0,291 (0,213)	0,367 (0,111)	0,142 (0,551)	0,743 (<0,001)	0,305 (0,191)
M. frontalis (mm)	20	0,150 (0,529)	0,593 (0,006)	0,544 (0,013)	0,429 (0,059)	0,248 (0,297)	-0,243 (0,302)
M. orbicularis oris (mm)	20	-0,039 (0,872)	0,284 (0,225)	0,297 (0,203)	0,048 (0,841)	0,193 (0,416)	-0,128 (0,591)
<0		0-0,2 sehr geringe	0,2-0,5 geringe	0,5-0,7 mittlere	0,7-0,9 hohe	>0,9 sehr hohe	

In **Tabelle 23** sind die Koeffizienten der Muskelparameter zu den biometrischen Merkmalen der Männer dargestellt. Hier zeigte sich noch deutlicher der sehr geringe Einfluss der Körpergröße. Es ergaben sich Koeffizienten $\leq 0,216$ und damit eine sehr geringe Korrelation. Auch für das Gewicht ergaben sich mit Koeffizienten $\leq 0,313$ nur sehr geringe bis geringe Korrelationen. Einzig für den M. frontalis ($r_s=0,593$; $p=0,006$) ergab sich eine mittel starke signifikante Korrelation. Der Einfluss des Gewichts spiegelt sich auch hier bei der Korrelation mit dem BMI wider. Mit Koeffizienten $\leq 0,367$ ergaben sich überwiegend geringe Korrelationen. Für den M. frontalis ($r_s=0,544$; $p=0,013$) ergab sich wiederum eine mittel starke signifikante Korrelation. Für die Maße des Gesichtes den Kopfumfang und der mentomentalen Länge ergaben sich mit Koeffizienten $\leq 0,497$ nur geringe bis sehr geringe Korrelationen. Für den M. depressor anguli oris ($r_s=0,497$; $p=0,026$) ergab sich eine geringe signifikante Korrelation zur mentomentalen Länge. Bei der Korrelation mit dem bizygomatischen Abstand ergaben sich für den M. mentalis ($r_s=0,663$; $p=0,001$), den M. depressor anguli oris ($r_s=0,671$; $p=0,001$), den M. depressor labii inferioris ($r_s=0,457$; $p=0,034$), den M. zygomaticus major ($r_s=0,524$; $p=0,018$) sowie den M. orbicularis oculi ($r_s=0,743$; $p<0,001$) überwiegend mittel starke und sogar starke signifikante Korrelationen. Für die übrigen Muskeln waren mit Koeffizienten $\leq 0,248$ die Korrelation nur gering bis sehr gering ausgeprägt.

4.4.2 Korrelation mit klinischen Parametern

Es wurde der Zusammenhang der Muskelgrößen in Ruhe sowie der Kontraktilität mit der Schwere der Erkrankung überprüft. Die Korrelationskoeffizienten nach Spearman

sind in den folgenden Tabellen (Tabelle 24 und Tabelle 25) farblich kodiert dargestellt.

Tabelle 24: Korrelation nach Spearman der Muskelgrößen mit klinischen Parametern
(rs Korrelationskoeffizient nach Spearman, R = rechts, L = links)

Korrelation der Muskelgrößen in Ruhe mit klinischen Parametern									
Muskel	Frauen				Männer				
	n	r _s UPDRS3	r _s Gesichtsausdruck	Seite	n	r _s UPDRS3	r _s Gesichtsausdruck	Seite	
M. mentalis (mm ²)	18	-0,109 (0,668)	-0,291 (0,242)	R	20	0,382 (0,096)	0,369 (0,120)	R	-0,002 (0,992)
				L				L	0,300 (0,199)
M. depressor anguli oris (mm ²)	18	-0,212 (0,399)	-0,329 (0,183)	R	20	0,193 (0,416)	0,266 (0,272)	R	-0,084 (0,726)
				L				L	0,001 (0,997)
M. depressor labii inferioris (mm ²)	18	-0,425 (0,079)	-0,429 (0,076)	R	20	0,138 (0,561)	0,399 (0,091)	R	-0,167 (0,481)
				L				L	0,006 (0,978)
M. zygomaticus major (mm ²)	18	-0,064 (0,801)	0,081 (0,751)	R	20	0,550 (0,012)	0,117 (0,633)	R	0,183 (0,441)
				L				L	0,283 (0,263)
M. temporalis (mm)	18	0,274 (0,271)	0,371 (0,130)	R	20	0,061 (0,798)	0,309 (0,198)	R	0,112 (0,638)
				L				L	-0,093 (0,695)
M. masseter (mm)	18	-0,428 (0,076)	-0,366 (0,136)	R	20	-0,113 (0,635)	0,245 (0,312)	R	0,176 (0,459)
				L				L	0,291 (0,214)
M. orbicularis oculi (mm)	18	0,193 (0,443)	0,317 (0,200)	R	20	0,376 (0,102)	0,283 (0,241)	R	-0,102 (0,667)
				L				L	0,380 (0,119)
M. frontalis (mm)	18	0,131 (0,604)	0,157 (0,534)	R	20	0,170 (0,474)	0,493 (0,032)	R	0,225 (0,340)
				L				L	0,284 (0,260)
M. orbicularis oris (mm)	18	0,335 (0,174)	0,429 (0,076)	R	20	-0,293 (0,210)	0,176 (0,470)	R	-0,126 (0,597)
				L				L	0,116 (0,626)
<0		0-0,2 sehr geringe	0,2-0,5 geringe			0,5-0,7 mittlere	0,7-0,9 hohe		>0,9 sehr hohe

In **Tabelle 24** sind die Korrelationen der Muskelparameter in Ruhe zu der Punktzahl des MDS-UPDRS III sowie der einzelnen Elemente Gesichtsausdruck und Fingertapping beider Geschlechter dargestellt. Mit Korrelationskoeffizienten $\leq 0,428$ für den MDS-UPDRS III, $\leq 0,493$ für den Gesichtsausdruck und $\leq 0,380$ für das Fingertapping zeigten sich sowohl für die Frauen als auch die Männer nur geringe bis sehr geringe Korrelationen. Einzig für den M. zygomaticus major ($r_s=0,550$; $p=0,012$) zeigte sich eine mittel starke Korrelation mit dem Punktwert des MDS-UPDRS III und für den M. frontalis ($r_s=0,493$; $p=0,032$) zeigte sich eine geringe signifikante Korrelation mit dem Gesichtsausdruck. Insgesamt lässt sich keine klare Tendenz zu positiver oder negativer Korrelation ablesen.

Tabelle 25: Korrelation nach Spearman der Kontraktilität mit klinischen Parametern
(rs Korrelationskoeffizient nach Spearman, R = rechts, L = links)

Korrelation der Kontraktilität mit klinischen Parametern									
Muskel	n	Frauen				Männer			
		r _s UPDRS3	r _s Gesichtsausdruck	Seite	r _s Fingertapping	n	r _s UPDRS3	Gesichtsausdruck	Seite
M. mentalis (%)	18	0,169 (0,324)	0,198 (0,246)	R	0,181 (0,472)	20	-0,094 (0,564)	-0,215 (0,196)	R 0,097 (0,685)
				L	0,137 (0,587)				L -0,053 (0,826)
M. depressor anguli oris (%)	18	-0,296 (0,080)	-0,173 (0,314)	R	-0,029 (0,909)	20	-0,205 (0,204)	-0,137 (0,411)	R -0,515 (0,020)
				L	-0,518 (0,028)				L -0,281 (0,230)
M. depressor labii inferioris (%)	18	-0,070 (0,685)	0,074 (0,670)	R	-0,035 (0,891)	20	-0,001 (0,994)	-0,084 (0,615)	R 0,136 (0,566)
				L	0,212 (0,398)				L -0,158 (0,507)
M. zygomaticus major (%)	18	-0,244 (0,151)	-0,170 (0,321)	R	-0,173 (0,492)	20	-0,295 (0,065)	-0,177 (0,287)	R 0,137 (0,564)
				L	-0,309 (0,212)				L 0,100 (0,674)
M. temporalis (%)	18	-0,191 (0,265)	-0,101 (0,558)	R	-0,206 (0,413)	20	-0,148 (0,361)	0,172 (0,302)	R -0,006 (0,981)
				L	0,254 (0,308)				L 0,221 (0,349)
M. masseter (%)	18	0,068 (0,694)	0,026 (0,882)	R	-0,121 (0,633)	20	0,072 (0,659)	-0,028 (0,865)	R 0,204 (0,389)
				L	-0,144 (0,569)				L 0,359 (0,120)
M. orbicularis oculi (%)	18	0,304 (0,072)	0,324 (0,054)	R	0,157 (0,534)	20	0,040 (0,808)	-0,093 (0,579)	R -0,004 (0,986)
				L	0,032 (0,899)				L -0,061 (0,759)
M. frontalis (%)	18	-0,044 (0,799)	-0,267 (0,116)	R	-0,092 (0,718)	20	-0,223 (0,166)	-0,251 (0,128)	R 0,227 (0,335)
				L	-0,139 (0,581)				L 0,347 (0,133)
M. orbicularis oris (%)	18	-0,215 (0,207)	-0,153 (0,372)	R	-0,132 (0,600)	20	-0,201 (0,214)	-0,269 (0,103)	R 0,217 (0,357)
				L	0,098 (0,698)				L -0,163 (0,493)
<0		0-0,2 sehr geringe		0,2-0,5 geringe		0,5-0,7 mittlere		0,7-0,9 hohe	>0,9 sehr hohe

In **Tabelle 25** wurde die Korrelation der Kontraktilität von Frauen und Männern zu den klinischen Parametern dargestellt. Mit Korrelationskoeffizienten $\leq 0,464$ für den MDS-UPDRS III, $\leq 0,393$ für den Gesichtsausdruck und $\leq 0,359$ für das Fingertapping ergeben sich auch hier nur sehr geringe bis geringe Korrelationen für Frauen und Männer. Einzig die Kontraktilität des M. depressor labii inferioris der linken Seite bei den Frauen ($r_s = -0,518$; $p = 0,028$) und der rechten Seite bei den Männern ($r_s = -0,515$; $p = 0,020$) zeigt eine mittel starke signifikante Korrelation mit dem Element Fingertapping. Insgesamt zeigen sich überwiegend negative Korrelationen. Dies spricht dafür, dass mit der Schwere der Erkrankung und damit mit höheren Punktwerten in den klinischen Scores die Kontraktionsfähigkeit der Muskulatur abnimmt.

5. Diskussion

In der vorliegenden Studie wurden mimische Muskeln sowie Kaumuskeln bei Patienten mit M. Parkinson sonografisch mittels eines hochauflösenden Linearschallkopfes dargestellt und segmentiert. In vorangegangenen Studien derselben Arbeitsgruppe wurden für einige Muskeln bereits Referenzwerte für Muskelquerschnittfläche, Längsdurchmesser und Querdurchmesser sowie ein standardisiertes Protokoll zur Sonografie an 140 gesunden Probanden erstellt. Zunächst wurden das Untersuchungsprotokoll, der Untersuchungsablauf und das Preset für das im Rahmen der vorliegenden Studie verwendeten Sonografiegeräts angepasst. Es wurden 7 mimische Muskeln und 2 Kaumuskeln in das Protokoll aufgenommen. Anschließend wurde die Intra- und Interobserver-Reliabilität bei 2 Untersuchungen im Abstand von 14 Tagen mittels Varianzanalyse überprüft. Nach statistischer Fallzahlplanung wurden auf der Grundlage des Untersuchungsprotokolls die mimische Muskulatur von 38 Patienten mit M. Parkinson hinsichtlich Muskelgröße, Kontraktilität und Echointensität untersucht und mit den Referenzwerten gesunder Probanden verglichen. Anschließend wurde der Einfluss biometrischer Parameter wie Geschlecht, Größe, Gewicht, BMI, Kopfumfang, mentomentale Länge und bizygomatischer Abstand sowie die Abhängigkeit von klinischen Parametern wie Punktzahl aus MDS-UPDRS 3, Fingertapping und Gesichtsausdruck überprüft.

5.1 Sonografie der mimischen Muskulatur und Kaumuskulatur

Erste sonografische Untersuchungen der mimischen Muskulatur bei gesunden Probanden gelangen Balogh, Frühwald und Mellesie 1988. Damals wurde ein 10 MHz Sektorschallkopf zum Anfertigen der Bilder genutzt. Zwar hatte der Sektorschallkopf im Vergleich zu den damaligen Linearschallköpfen ein schlechteres Auflösungsvermögen im Nahfeld, zeigte aber auf Grund der kleineren Auflagefläche eine bessere Steuerbarkeit und eine bessere Ankopplung an die Haut. Um das Nahfeld zu überbrücken und die bessere Tiefenauflösung des Schallkopfes zu nutzen, wurden Vorlaufstrecken mit 25 mm Dicke genutzt (Balogh et al. 1988, Frühwald 1988, Millesi et al. 1988). In Studien der letzten Jahre konnte gezeigt werden, dass auf Vorlaufstrecken bei modernen Linearschallköpfen verzichtet werden kann und die Verwendung der Strecken den Untersuchungsablauf durch die mäßige Anpassungsfähigkeit an die Konturen des Gesichts eher erschwert (Volk 2013, Sauer 2013). Zusätzlich wird durch das Eigengewicht der Vorlaufstrecken die

mimische Muskulatur komprimiert (Kiliaridis und Kalebo 1991). Um die mimische Muskulatur weder durch das Gewicht der Vorlaufstrecken noch durch den Schallkopf selbst zu komprimieren und gleichzeitig die Unschärfe im Nahfeld des verwendeten Linearschallkopfes L 3-12 zu überbrücken, wurde in der vorliegenden Arbeit ein dicker Film des Ultraschallgels verwendet.

Auf Grund des technischen Fortschritts können heute mit der Entwicklung hochauflösender Linearschallköpfe mit sehr guter Auflösung im Nahfeld detaillierte Darstellungen der mimischen Muskulatur realisiert werden. Gut geeignet zur Darstellung oberflächlicher Muskeln sind nach Peetrans 7 bis 15 MHz Linearschallköpfe (Peetrans 2002). Verschiedene Arbeitsgruppen nutzen diese gute Auflösung im Nahfeld. McAlister konnte mittels eines 7,5 MHz Linearschallkopfes den M. zygomaticus major sowie den M. levator labii superioris darstellen (McAlister et al. 1998). Satiroglu stellte zusätzlich zu den zwei genannten Muskeln den M. masseter mit Hilfe eines 7-9 MHz Linearschallkopfes dar und De Korte nutzte für die Darstellung des M. orbicularis oris einen 3-11 MHz Linearschallkopf (Satiroglu et al. 2005, de Korte et al. 2009). In vorangegangenen Studien der Arbeitsgruppe des Fazialis-Nerv-Zentrums Jena wurden zur Darstellung der Muskeln verschiedene Schallköpfe verwendet. Der M. orbicularis oris sowie der M. orbicularis oculi wurden mit einem höher auflösendem 7-15 MHz Linearschallkopf dargestellt. Die übrigen Muskeln wurden mit einem 3-12 MHz Linearschallkopf dargestellt. Mit diesen technischen Gegebenheiten konnten insgesamt 15 mimische Muskeln sonografisch identifiziert werden. Es wurde ein Protokoll zur Sonografie der mimischen Muskulatur erstellt. Für 7 ausgewählte mimische Muskeln sowie 2 Kaumuskeln konnten außerdem Referenzwerte an 140 gesunden Probanden veröffentlicht werden (Volk 2014a). In der vorliegenden Arbeit wurde nicht wie bisher das von der Arbeitsgruppe verwendete Sonografiegerät HD11 XE (Philips, Eindhoven, Niederlande) genutzt, sondern das eZono 4000 (eZono, Jena, Deutschland) mit einem 3-12 MHz Linearschallkopf (L 3-12). Schallköpfe mit höherer Frequenz gibt es für dieses Gerät nicht. Frühwald und De Korte hatten bereits gezeigt, dass die Darstellung des M. orbicularis oris auch mit niederfrequenten Schallköpfen möglich war und auch der M. orbicularis oculi wurde durch Balogh bereits 1988 dargestellt. Außerdem gewährleistete die geringe Breite des verwendeten Linearschallkopfes L 3-12 die Einhaltung der Schallkopfpositionen nach Protokoll für den M. orbicularis oris sowie den M. orbicularis oculi. Daher wurden alle Muskeln mit ein und demselben

Ultraschallkopf vermessen. Dies hat den Vorteil der besseren Vergleichbarkeit der Muskeln untereinander. Hingegen konnten die Muskeln weniger detailliert dargestellt werden, als bei den bisherigen Untersuchungen. Da in der vorliegenden Arbeit im Vordergrund stand, den größten Querdurchmesser der Muskeln innerhalb eines definierten Schnittes zu bestimmen und nicht den Muskel möglichst weit und detailliert in seinem Verlauf zu verfolgen, konnte auch mit einem niederfrequenten Schallkopf gearbeitet werden. Der limitierende Faktor für die exakte Bestimmung des Durchmessers lag hier eher bei der Quantifizierungssoftware Sante DICOM Editor 3D (Santesoft medical imaging since 1999, Athen, Griechenland), die lediglich auf 0,06 mm genau vermessen konnte. Eine detaillierte Abbildung des Muskels durch einen hochfrequenten Schallkopf hätte keinen entscheidenden Vorteil gebracht. Durch die Verwendung eines anderen Sonografiegerätes mit einem anderen Schallkopf sowie einer anderen Quantifizierungssoftware ist die Vergleichbarkeit der Messergebnisse mit den Referenzwerten allerdings erschwert. Da keine Reliabilitätsuntersuchungen mit den verschiedenen Sonografiegeräten sowie den Quantifizierungssoftwares vorliegen, kann nicht abgeschätzt werden, ob sich ein Fehler aus den unterschiedlichen technischen Voraussetzungen ergibt und wie groß sich dieser Fehler darstellt. Um Vergleiche der sonografischen Bilder unterschiedlicher Geräte besser bewerten zu können, sind Reliabilitätsuntersuchungen zwischen den technischen Gegebenheiten notwendig. Alternativ könnten im Kontext der Fragestellung der vorliegenden Arbeit nach Unterschieden der Muskelgrößen der mimischen Muskulatur bei Patienten mit M. Parkinson im Vergleich zu den Referenzwerten gesunder Probanden, eine Kontrollgruppe mit dem eZono 4000 (eZono, Jena, Deutschland) untersucht werden. Anhand derer könnten abgestimmt nach Alter, Geschlecht und Sonografiegerät eigene Referenzwerte bestimmt und die Aussagekraft der Ergebnisse erhöht werden.

5.2 Untersuchungsablauf

Um einen effektiven Untersuchungsablauf gestalten zu können, wurde ein bereits etabliertes Untersuchungsprotokoll modifiziert und auf die zentralen Fragestellungen angepasst (Volk 2013, Sauer 2013). Auch die Auswahl der 7 mimischen Muskeln und 2 Kaumuskeln wurde aus dem Protokoll übernommen, allerdings erfolgte die Auswahl aus anderen Gründen. Ins Protokoll aufgenommen wurden die Muskeln, die obligat angelegt sind. Das sind nur solche, die für die Expression der Basisemotionen und für Schutzreflexe unabdingbar sind. Die anderen Muskeln zeigen teilweise große

Variabilität und Seitendifferenzen (Waller 2008). Bei Sauer sollten die Muskeln zusätzlich die Bedingung erfüllen, von verschiedenen Ästen des N. facialis innerviert zu sein um bei peripheren Fazialisparesen eine repräsentatives Bild des Fazialis-Fächers zu erfassen. Dieses Kriterium spielte bei der Auswahl der Muskeln der vorliegenden Arbeit keine Rolle. Allerdings sollten Referenzwerte für die ausgewählten Muskeln vorliegen. Deshalb wurden folgende mimische Muskeln ins Protokoll aufgenommen: M. mentalis, M. depressor labii inferioris, M. depressor anguli oris, M. zygomaticus major, M. masseter, M. temporalis, M. orbicularis oculi, M. frontalis, M. orbicularis oris. Zusätzlich wurden bei Sauer die 2 Kaumuskeln M. masseter und M. temporalis ins Protokoll integriert. Dies erfolgte vor dem Hintergrund, dass die durch den N. trigeminus innervierten Muskeln bei einer Fazialisparese nicht beeinträchtigt waren und somit als Referenzmuskulatur dienen konnten (Sauer 2013). Bei der Sonografie der Kaumuskulatur bei Patienten mit M. Parkinson sollte überprüft werden, ob sich durch die Mehrbenutzung der Kaumuskulatur im Gegensatz zur mimischen Muskulatur durch die zentrale Rolle während der Nahrungsaufnahme, eine weniger starke Beeinträchtigung der Kaumuskulatur ergibt. In einer Metaanalyse zu verschiedenen Trainingsformen bei M. Parkinson wurde gezeigt, dass durch gezielte physiotherapeutische Behandlung der Patienten eine Verbesserung im Bereich Beweglichkeit und Muskelkraft eintritt im Vergleich zu Patienten ohne spezielle Behandlung (Roeder et al. 2015). Ein ähnlicher Trainingseffekt könnte auch an der Gesichtsmuskulatur sichtbar werden. Wenn sich zeigte, dass die Kaumuskulatur bei Patienten mit M. Parkinson nicht beeinträchtigt wäre, könnte sie auch hier als Referenzmuskulatur dienen. Deshalb wurden die 2 Kaumuskeln ins Protokoll integriert.

5.3 Standardisierung von Helligkeit und Kontrast

In der vorliegenden Arbeit wurden die aufgenommenen Videosequenzen manuell mittels der Quantifizierungssoftware Sante DICOM Editor 3D (Santesoft medical imaging since 1999, Athen, Griechenland) ausgewertet. Dazu wurde je ein Einzelbild des entsprechenden Muskels in Ruhe und in maximal möglicher willkürlicher Kontraktion vermessen. Bei den Muskeln, bei denen der gesamte Querschnitt dargestellt werden konnte, wurde zusätzlich zu Längs- und Querdurchmesser die Muskelquerschnittfläche bestimmt. Um zuverlässig und wiederholbar die Parameter bestimmen zu können, mussten im Vorfeld der Segmentierung Helligkeit und Kontrast angepasst werden. In vorangegangenen Arbeiten der gleichen

Arbeitsgruppe war es bisher nur möglich gewesen subjektiv für jeden einzelnen Muskel ein individuelles Preset zu finden. Standardisiert war dies nicht möglich, weil durch die verschiedenen Echointensitäten der einzelnen Muskeln keine universelle Einstellung für Helligkeit und Kontrast gefunden werden konnte. Die in der vorliegenden Arbeit verwendete Quantifizierungssoftware Sante DICOM Editor 3D (Santesoft medical imaging since 1999, Athen, Griechenland) bot im Gegensatz zur bisher verwendeten Software QLab 8.1 (Philips, Eindhoven, Niederlande) die Schwierigkeit, dass es lediglich einen Schieberegler ohne numerische Skalierung für die Helligkeit gab. Die Software QLab 8.1 (Philips, Eindhoven, Niederlande) konnte in der vorliegenden Arbeit nicht verwendet werden, da es mit der Software lediglich möglich war Ultraschallbilder von Philips auszuwerten, aber kein Sonografiegerät der Firma verwendet wurde. So konnte die Einstellung der Helligkeit für die einzelnen Muskeln nicht exakt nachvollzogen werden. Allerdings war besonders wichtig, dass die gleichen Muskeln der jeweiligen Gesichtsseiten vergleichbar waren. Das eingestellte Preset konnte für alle geöffneten Videos einer Serie in der Quantifizierungssoftware übernommen werden. Die Einstellungen für den Kontrast wurden auf Basis des vorgegebenen Presets der Softwarefirma (Santesoft Medical Imaging Software since 1999, Athen, Griechenland) mit Level 155 und Window 240 an die mimische Muskulatur angepasst. Es wurde ausprobiert, welche Einstellung den besten Kompromiss für alle Muskeln darstellte. Dieser Kontrast mit Level 110 und Window 130 wurde dann bei allen Messungen und Muskeln angewendet und lediglich die Helligkeit verändert. Da aber die Muskeln unterschiedliche Echogenitäten besitzen, konnte nicht für alle Muskeln ein optimales Preset angewendet werden. In einem Vortrag zur Grauwertschwelle von Mikro-CT Daten wurde die Schwelle (ISO50) als die Summe des mittleren Grauwertes des Materials und des mittleren Grauwertes von Luft dividiert durch 2 definiert. Daran angelehnt könnten Level und Window aus dem Wert 130 (entspricht dem Grauwert von Knochen; als Landmarke in jedem Ultraschallbild zu finden) und dem Mittelwert der Referenzgrauwerte eines jeden Muskels berechnet werden (Engels und Handl 2015). So könnte für jeden einzelnen Muskel ein angepasstes Preset erstellt werden. Allerdings wurden bisher keine Referenzwerte zu den Grauwerten veröffentlicht, außerdem verändern sich die Grauwerte bei verschiedenen neuromuskulären Erkrankungen (Pillen et al. 2008, Pillen et al. 2003). Da die Berechnung des Presets außerdem auf Basis eines durchschnittlichen Referenzwertes passieren würde,

könnte auch bei dieser Variante nicht für jeden Muskel das geeignete Preset erstellt werden. Zusätzlich werden durch verschiedene Sonografiegeräte unterschiedliche Grauwerte ausgegeben, die untereinander nicht vergleichbar sind. Man bräuchte für jedes Gerät spezifische Referenzwerte.

Die Interobserver-Reliabilität hängt bei der mimischen Muskulatur zu einem Großteil von der Quantifizierung der Videosequenzen ab und weniger von der sonografischen Erstellung der Videos (Schüler 2016). Gleichzeitig hängt die Quantifizierung von der sicheren Bestimmung der Muskelgrenze ab, die nur durch eine geeignete Einstellung von Helligkeit und Kontrast erreicht werden kann. Um exakt die Muskelgrenze bestimmen zu können, müsste durch das Preset eine scharfe Grenze sichtbar werden. Da die mimischen Muskeln aber keine Faszie besitzen und die Muskelfasern direkt an der Haut oder anderen Muskeln und Weichteilen inserieren, ist auch anatomisch keine scharfe Grenze vorhanden und kann daher auch sonografisch nicht dargestellt werden (Freilinger 1987). Deshalb bleibt die manuelle Auswertung weiterhin sehr subjektiv. Sie stellt die größte Limitation der Sonografie der mimischen Muskulatur dar, wenn die Messergebnisse zwischen verschiedenen Untersuchern verglichen werden sollen. Um diesen Fehler abzumildern, bräuchte es eine klare und universelle Anweisung für die Erstellung eines Presets. Bei Untersuchungen, die die Gesichtshälften vergleichen, wie bei Patienten mit Fazialisparese, oder longitudinalen Studien, bei denen Patienten im Verlauf untersucht werden, sind die Ergebnisse besser vergleichbar und Trends leichter abzuleiten. Bei der in der vorliegenden Studie gewählten Form, Messergebnisse mit Referenzwerten aus der Literatur zu vergleichen, zeigt sich, dass absolute Zahlen zur Muskelquerschnittfläche oder Durchmesser nur unter Vorbehalt miteinander verglichen werden können. Letztendlich ist der Nachweis einer Atrophie oder Hypertrophie der Muskulatur bei Patienten mit M. Parkinson aber nicht entscheidend und könnte durch longitudinale Studien besser erfasst werden. Die prozentuale Differenz in Form der Muskeldynamik ist im Vergleich dazu aussagekräftiger, da sich ein konstanter Messfehler, der sich beispielsweise durch verschiedene Presets ergibt, nicht in der Muskeldynamik niederschlägt. Zudem ist eine veränderte Muskeldynamik als Ausdruck der Bradykinese für Patienten mit M. Parkinson ein besserer Marker für die Therapie.

5.4 Messmethodik zur Quantifizierung der Videosequenzen

Die manuelle Segmentierung der aufgenommenen Videosequenzen erfolgte mittels der Quantifizierungssoftware Sante DICOM Editor 3D (Santesoft medical imaging since 1999, Athen, Griechenland). Bevor der Zustand der Entspannung und größten Anspannung segmentiert werden konnten, wurde zunächst das Video in voller Länge angeschaut. Die bisherige Strategie der Auswertung innerhalb der Arbeitsgruppe war es, den Ruhezustand anhand des ersten Bildes der aufgenommenen Videosequenz zu segmentieren. Für den Zustand der maximalen Kontraktion wurde ein geeigneter Ausschnitt der Videosequenz herangezogen (Volk 2014a). Für die vorliegende Arbeit wurde der Patient während einer Videoaufnahme zwischen 2 und 3 Mal aufgefordert, die Zielbewegung mit maximal möglicher Intensität auszuführen. Bei der Segmentierung wurde dann eine zusammenhängende Sequenz gesucht, bei der sowohl Ausgangszustand als auch der Zustand der maximal möglichen willkürlichen Kontraktion gut zu erkennen waren. Damit sollte erreicht werden, dass der Zustand der Kontraktion aus der aufgenommenen Entspannung resultierte und nicht in etwa der Schallkopf leicht verrutscht war oder andere Fehler von außen das Messergebnis verfälschten. Die Definition des Zustands der maximalen Kontraktion innerhalb des Videos wurde durch den Untersucher festgelegt. Das Ausmaß der Kontraktion hing dabei sehr von der Mitarbeit und den Möglichkeiten des Patienten ab. In vergleichbaren Studien der Kontraktion von Skelettmuskeln wurden verschiedene Kontraktionsgrade durch elektrische Stimulation erreicht. Durch entsprechend hohe Stimulationsintensitäten konnte so die maximal mögliche Kontraktion provoziert werden (Lopata et al. 2010). Da die vorliegende Studie unter anderem die funktionelle Einschätzung der Muskulatur beinhaltet und perspektivisch die Sonografie als Verlaufsparemeter für den Erfolg einer Behandlung genutzt werden soll, wäre es im Hinblick darauf nicht sinnvoll, eine durch Elektrostimulation hervorgerufene maximale Kontraktion zu untersuchen. Um die Muskeln beschreiben zu können, wurden verschiedene charakteristische Parameter erhoben. Für den M. mentalis, M. depressor anguli oris, M. depressor labii inferioris und den M. zygomaticus major konnte zusätzlich zu den maximalen Durchmessern die Muskelquerschnittfläche bestimmt werden, da durch die jeweilige Schallebene eine komplette Darstellung des Muskelquerschnitts möglich war. Bei den übrigen Muskeln wurde die auf dem Sonografiebild sichtbare Querschnittfläche bestimmt, um die Echointensitäten zu erhalten. Außerdem wurde ebenfalls der maximale

Querdurchmesser und Längsdurchmesser bestimmt. Bei den bisherigen Untersuchungen der Arbeitsgruppe bei gesunden Probanden und Patienten mit chronischer Fazialisparese wurden die maximalen Durchmesser in Ruhe und Kontraktion an der dicksten Stelle des Muskels vermessen (Volk 2014b, Volk 2014a). Im Gegensatz dazu wurde in der vorliegenden Arbeit zunächst der maximale Querdurchmesser in Kontraktion vermessen und danach an derselben Stelle der Durchmesser in Ruhe bestimmt, d.h. nicht unbedingt an der Stelle des größten Durchmessers in Ruhe. Sinn ist es, die Kontraktilität nicht zu unterschätzen. Andererseits wird nur die Kontraktilität einer Stelle des Muskels abgebildet. Möglicherweise wäre es repräsentativer, wenn man mehrere Stellen des Muskels vermisst und den Mittelwert aus den Messwerten bildet.

Die Reihenfolge der Segmentierung erfolgte gleich der Reihenfolge der sonografischen Aufnahmen. Dies diente der Optimierung der Arbeitsabläufe, da alle Videos eines Patienten gleichzeitig in der Quantifizierungssoftware geöffnet werden konnten und außerdem Zeit bei der Übertragung der Daten in die Excel-Tabelle gespart werden konnte. Wenn aber die beiden Gesichtsseiten der Patienten auf Unterschiede hin untersucht werden sollen, kann auch ein systematischer Fehler entstehen. Werden alle Muskeln der beiden Gesichtsseiten ein und desselben Patienten nacheinander untersucht und ist ein Trend erkennbar, kann das dazu führen, dass im Bewusstsein der Zielsetzung der Untersucher fälschlicherweise die Muskeln einer Gesichtsseite zu Gunsten der These segmentiert. Diese Art von Fehler könnte umgangen werden, indem die Segmentierung nach Muskel erfolgt. D.h. es würde hintereinander der gleiche Muskel bei jedem Patienten ausgewertet. Zusätzlich hätte das den Vorteil, dass sich eine gewisse Routine für die einzelnen Muskeln aufbaut und die Muskelgrenzen sicherer erhoben werden können. Alternativ könnten erst alle Muskeln der einen Gesichtsseite vermessen werden, dann die der anderen Seite. Dies ist aber nicht umsetzbar, wenn parallel zur Sonografie quantifiziert werden soll.

5.5 Statistik

In dieser klinisch experimentellen Studie wurden alle erhobenen Daten mittels der Statistiksoftware IBM SPSS Statistics 23 für Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois) statistisch ausgewertet. Zur Überprüfung einer Normalverteilung und damit der Auswahl der statistischen Tests wurden als optische Hilfsmittel Boxplots erstellt. Optische Hilfsmittel beweisen keine Normalverteilung. Aufgrund der kleinen

Stichprobe wurde aber auf einen Test auf Normalverteilung verzichtet. Bei kleinen Stichproben ist ein Test auf Normalverteilung als schwierig zu erachten. Meist ist mit einer Normalverteilung zu rechnen, da die Power zu gering ist, um die Nullhypothese abzulehnen (Ghasemi und Zahediasl 2012). Des Weiteren wurde in bisherigen Studien zur Sonografie der mimischen Muskulatur mit größeren Stichproben innerhalb der Arbeitsgruppe mit parametrischen Tests gearbeitet, so dass in Anlehnung daran auch bei dieser Stichprobe von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann (Volk 2014b, Volk 2014a).

Bevor die erhobenen Daten mit den Referenzwerten verglichen werden konnten, wurde ein t-Test zur Prüfung auf Seitenunterschiede durchgeführt. Dass sich die Werte nicht signifikant unterschieden, hieß nicht, dass die Werte der beiden Gesichtsseiten als gleich angesehen und somit zusammengefasst werden konnten. Bei den veröffentlichten Referenzwerten wurde daher zusätzlich ein Äquivalenztest zur Überprüfung der Seitengleichheit durchgeführt. Mit wenigen Ausnahmen konnte dort eine Äquivalenz nachgewiesen werden. Trotzdem wurde für alle Muskeln ein Mittelwert als Referenz veröffentlicht (Volk 2014a). Daher wurde in der vorliegenden Arbeit und auf Basis des t-Tests auf einen Äquivalenztest verzichtet. Die Messwerte der jeweiligen Muskeln beider Seiten wurden zu einem Mittelwert zusammengefasst. Dies gewährleistet außerdem die Vergleichbarkeit mit den Referenzwerten.

5.6 Intra- und Interobserver-Reliabilität

Bevor die Patienten sonografisch untersucht worden, wurde die Reliabilität der Messmethodik überprüft. Zunächst wurde die Reproduzierbarkeit der Messungen in Ruhe und Kontraktion in zwei seitengetrennten Wiederholungsmessungen im Zeitintervall von 14 Tagen innerhalb eines Untersuchers an 10 gesunden Probanden überprüft. Bei sonografischen Untersuchungen der mimischen Muskulatur von Satiroglu zeigte sich bereits, dass Untersuchungen in einem kurzen Zeitintervall innerhalb eines Tages Reliabilitäten von bis zu 99% ergeben (Satiroglu et al. 2005). Das kam daher, dass sich der Untersucher die Position des Schallkopfes und das Bild des sonografischen Schnittes merken konnte. Deshalb wurde in der vorliegenden Studie ein längeres Zeitintervall gewählt, um dessen Einfluss auf die Reliabilität zu überprüfen.

Die entsprechenden Videosequenzen wurden von ein und demselben Untersucher aufgenommen und segmentiert. In einem Zeitintervall von 14 Tagen ergaben sich über alle Flächen ICCs zwischen 0,815-0,986 (Median 0,909) und über alle

Durchmesser ICCs zwischen 0,162-0,988 (Median 0,687). In der Dissertation von M. Sauer ergaben sich für das gleiche Protokoll im Intervall 1 Tages über alle Flächen ICCs zwischen 0,826-0,996 (Median 0,990) und über alle Durchmesser ICCs zwischen 0,221-0,991 (Median 0,860) (Sauer 2013).

In einem längeren Zeitintervall ergeben sich niedrigere ICCs sowohl für die Flächen als auch für die Durchmesser. Das zeigt, dass wie von Satiroglu beschrieben ein kurzes Intervall zu verbesserten Ergebnissen führt, da das Bild besser nachgestellt werden kann. Gleichzeitig zeigt sich auch, dass die Differenz für die Durchmesser deutlich größer ist, als für die Flächen. D.h., dass der Durchmesser scheinbar stärker von der exakten Erstellung des Bildes abhängig ist als die Muskelquerschnittfläche. Dieses Phänomen wurde bereits von M. Sauer beschrieben. Wurden die segmentierten Bilder übereinander gelegt, zeigte sich, dass durch die exakt definierten Schallkopfpositionen die sonografischen Bilder nahezu identisch waren. Hingegen unterschied sich die Segmentierung der Muskelquerschnittflächen. Es wurden verschiedene Muskelfasern am Bildrand zusätzlich segmentiert oder aus der Segmentierung herausgelassen. In der Summe war die Gesamtfläche gleich (Sauer 2013). Daraus ergibt sich, dass durch die unterschiedliche Festlegung der Muskelquerschnittfläche der Muskel länger oder auch breiter werden kann, was sich in der verminderten Reliabilität der Durchmesser ergibt. Insgesamt zeigt sich für die ICCs der Durchmesser, dass die größte Übereinstimmung für den M. masseter erreicht werden kann. Hier wurde in Ruhe im Schnitt ein ICC von 0,941 und in Kontraktion ein ICC von 0,986 erreicht. In einer Veröffentlichung von Overas zu Reliabilitätsuntersuchungen zur Sonografie an verschiedenen Skelettmuskeln wird beschrieben, dass die erreichten Übereinstimmungen zwischen den Muskeln variieren. Dies wurde darauf zurückgeführt, dass bei den verschiedenen Muskeln die Landmarken und Muskelgrenzen durch variable Grauwerte unterschiedlich schwer zu beurteilen waren (Overas et al. 2017). Der Durchmesser des M. masseter als Skelettmuskel ist durch seine Faszie und damit klarer Abgrenzung von der Umgebung im Gegensatz zur mimischen Muskulatur leichter und reproduzierbarer zu bestimmen. Auch der M. temporalis erzielte sehr gute ICCs (Ruhe ICC=0,820; Kontraktion ICC=0,910). Allerdings bewegen sich hier die ICCs im Bereich der anderen mimischen Muskeln, bei denen nur der Durchmesser bestimmt wurde. Dies könnte damit zusammenhängen, dass das Auffinden der exakten Schallebene beim M. temporalis im Vergleich zum M. masseter erschwert ist und dass die

Muskelgrenze im Vergleich zum M. masseter nicht so eindeutig sichtbar ist.

Betrachtet man die Muskeln, bei denen nur der Durchmesser bestimmt werden kann unabhängig von den Muskeln, bei denen auch die Querschnittfläche bestimmt wurde, ergeben sich ICCs zwischen 0,763-0,988 (Median 0,913). Hier ergeben sich deutlich höhere Reliabilitäten. Die konstantere Vermessung des Querdurchmessers bei diesen Muskeln könnte mit der fehlenden Segmentierung der Muskelquerschnittfläche zusammenhängen. Die Festlegung der maximalen Durchmesser erfolgte sonst innerhalb der Querschnittfläche. Da diese in ihrer Form variiert, variieren auch die Durchmesser stärker.

Im Anschluss an die Intraobserver-Reliabilität wurde die Reproduzierbarkeit der Messungen in Ruhe und Kontraktion in zwei seitengetrennten Wiederholungsmessungen im Zeitintervall von 1 Tag und 14 Tagen zwischen zwei verschiedenen Untersuchern an 10 gesunden Probanden überprüft. Hierbei wurden die Bilder vom gleichen Untersucher aufgenommen wie segmentiert. In der Dissertation von Maik Sauer wurden die Ergebnisse über Kreuz ausgewertet. Das heißt, ein Untersucher segmentierte die Ultraschallbilder des anderen (Sauer 2013). Das führt dazu, dass Fehler beim Erstellen der Bilder oder auch beim Segmentieren ausgeglichen werden können. Stellen sich beispielsweise die Muskeln eines Untersuchers auf seinen Ultraschallbildern durch eine unkorrekte Schallebene zu klein dar, kann dieser Fehler maskiert werden, wenn der andere Untersucher großzügiger segmentiert. Dieser Fehler sollte aufgehoben werden, indem jeder Untersucher seine eigenen Bilder segmentierte.

Im 1 Tages Intervall ergaben sich für die Flächen ICCs zwischen 0,495-0,977 (Median 0,907) und für die Durchmesser ICCs zwischen 0-0,933 (Median 0,660). Im Intervall von 14 Tagen ergaben sich für die Flächen ICCs zwischen 0,476-0,968 (Median 0,866) und für die Durchmesser ICCs zwischen 0-0,931 (Median 0,633). Auch hier ergeben sich geringere ICC-Koeffizienten im längeren Zeitintervall, was damit zusammenhängen könnte, dass nach 14 Tagen der Patient eine etwas andere Lage einnimmt und damit die Schallebene zusätzlich etwas verändert ist oder, dass die Mitarbeit des Patienten anders ist. Trotzdem ergeben sich v.a. für die Flächen sehr gute ICC-Koeffizienten. Bei der Vermessung der Durchmesser zeigen sich wie auch in der Intraobserver-Reliabilität die größten ICCs für den M. masseter (ICC=0,922 im 1-Tages-Intervall, ICC=0,925 im 14-Tages-Intervall).

Insgesamt zeigen sich für die Intra- und Interobserver-Reliabilitäten sowohl in Ruhe

als auch Kontraktion überwiegend gute bis sehr gute Ergebnisse. Dabei sind die Flächen von der Reliabilität her den Durchmessern vorzuziehen. Besonders für die Durchmesser der Muskeln, bei denen auch die Querschnittfläche bestimmt wurde, zeigen die ICC-Koeffizienten teilweise große Variabilität und nur mäßige Ergebnisse. Eventuell sollten die Durchmesser zukünftig vor der Muskelquerschnittfläche segmentiert werden. Die sehr guten Reliabilitäten für den M. masseter zeigen die Auswirkung der exakten Bestimmbarkeit der Muskelgrenze vom umgebenden Gewebe. Bei der Intraobserver-Reliabilität ergeben sich bessere Übereinstimmungen, als bei der Interobserver-Reliabilität. Die überwiegend guten bis sehr guten ICC-Koeffizienten werden bestätigt durch die Ergebnisse von Reliabilitätsmessungen der Sonografie verschiedener Skelettmuskeln (Hadda et al. 2017, Cho et al. 2017). Auch die Beobachtung der etwas besseren Intraobserverreliabilität wird in einer Publikation von Overas bestätigt (Overas et al. 2017).

Die gute Interobserverreliabilität bei der Sonografie der mimischen Muskulatur scheint mit Blick auf die Literatur realistisch zu sein. Allerdings zeigt sich auch, dass es an einer klaren Segmentierungsanweisung fehlt. Die Bestimmung der Reliabilitäten erfolgt im Vorfeld der eigentlichen Messungen. Innerhalb der Arbeitsgruppe machen sich meist zwei Untersucher parallel vertraut mit der Untersuchungstechnik und Messmethodik, d.h. auch mit der Quantifizierung der Videosequenzen. Wenn dann die Reliabilitätsuntersuchungen stattfinden, hatten sich die Untersucher meist ähnliche Arbeitsweisen angeeignet. Außerdem existieren klare Absprachen zur Segmentierung. Das ist ein Grund, warum die sehr guten Reliabilitäten erreicht werden können. In den Dissertationen von Maik Sauer und Martin Pohlmann wurde nach der Bestimmung der Interobserver-Reliabilität die mimische Muskulatur der gleichen 140 Probanden nach verschiedenen Aspekten untersucht. Beide Untersucher quantifizierten dabei unabhängig voneinander die Muskelquerschnittfläche bzw. Querdurchmesser der Muskeln in Ruhe. Bei Pohlmann ergaben sich deutlich niedrigere Mittelwerte für die einzelnen Parameter, als bei Sauer (Sauer 2013, Pohlmann 2017). Das zeigt, dass innerhalb der Lernkurve jeder Untersucher seine eigene Routine entwickelt und die Muskelgrenzen verschieden interpretiert, obwohl sich zunächst sehr gute Reliabilitäten ergaben. Neben einer standardisierten Einstellung von Helligkeit und Kontrast würde v.a. eine klare

Segmentierungsanweisung dazu beitragen, solche Abweichungen künftig zu vermeiden.

5.7 Muskelgrößen und Grauwerte bei Patienten mit klinischer Seitenbetonung

Von den insgesamt 38 untersuchten Patienten mit M. Parkinson wiesen 14 Patienten eine klinische Seitenbetonung auf. Um zu überprüfen, ob sich die Seitenbetonung auch an der mimischen Muskulatur widerspiegelte, wurden die Muskelgröße, Kontraktilität und die Grauwerte mittels eines t-Tests auf Seitenunterschiede hin untersucht. Für die Muskelparameter wurde die jeweilige prozentuale Differenz zwischen der betonten und nicht-betonten Seite berechnet.

Für die Muskelquerschnittfläche ergaben sich prozentuale Differenzen zwischen +4,07 % und -3,58 % zwischen den jeweiligen Gesichtsseiten. Einzige Ausnahme war der M. mentalis mit einer Differenz von -15,25 % der betonten gegenüber der nicht-betonten Seite. Für die Muskeln, bei denen nur der Querdurchmesser bestimmt wurde, zeigten sich Differenzen zwischen +8,16 % und -1,47 %. Auch in Kontraktion zeigte sich ein ähnliches Bild. Für die Muskelquerschnittflächen ergaben sich Differenzen zwischen +8,26 % und -4,54 %. Hier bildete die Querschnittfläche des M. zygomaticus major mit -14,13 % eine Ausnahme. Für die Muskeln, bei denen lediglich der Querdurchmesser bestimmt wurde, zeigten sich Differenzen zwischen +2,27 % und -3,41 %. Auch für die Kontraktilität zeigten sich überwiegend geringe Differenzen, zwischen +9,45 % und -11,66 % für die Muskelquerschnittfläche und -4,43 % und -0,53 % für die Muskeln, bei denen nur der Querdurchmesser bestimmt wurde.

Weder für die Muskelparameter in Ruhe und Kontraktion noch für die Kontraktilität ließen sich signifikant Seitenunterschiede nachweisen. Dies könnte an der kleinen Fallzahl von nur 14 Patienten liegen. Allerdings zeigten sich auch überwiegend kleine prozentuale Differenzen, vor allem für die Muskelquerschnittflächen, die in den Reliabilitätsmessungen höhere Koeffizienten erzielten und damit aussagekräftiger sind, als die Durchmesser. Zusätzlich ließen sich keine klaren Tendenzen zu Unterschieden der Muskelgrößen oder Kontraktilität ableiten. Im Vergleich werden in einer Veröffentlichung zur Sonografie der mimischen Muskulatur bei 20 Patienten mit chronischer Fazialisparese durch Volk et al. prozentuale Differenzen zwischen -23,2 % und -36,2 % für die Muskelquerschnittfläche und -11,00 % und -5,8 % für die Querdurchmesser beschrieben. Für die Kaumuskulatur, die von einer Fazialisparese nicht direkt betroffen ist, ergeben sich Differenzen von -1,7 % für den M. temporalis

und +2,7 % für den M. masseter (Volk 2014b). Es zeigt sich, dass sich die gefundenen Seitenunterschiede bei Patienten mit chronischer Fazialisparese in anderen Größenordnungen befinden, als die Seitenunterschiede bei Patienten mit seitenbetontem M. Parkinson. Zusätzlich zeigt sich bei Patienten mit Fazialisparese, dass sich durchweg für die paretische Seite deutlich kleinere Muskelparameter ergeben, als für die gesunde Seite. Die prozentualen Differenzen der Seiten bei Patienten mit M. Parkinson liegen eher im Bereich der Differenzen der Kaumuskeln, die von der Fazialisparese nicht direkt betroffen sind. Auch die Grauwerte für die Patienten mit M. Parkinson zeigen keine signifikanten Seitenunterschiede im t-Test. Eine Ausnahme stellt hier der M. masseter dar, dessen Grauwert um +13,63 % ($p=0,028$) in Ruhe und +12,58 % ($p=0,013$) in Kontraktion auf der betonten Seite signifikant größer ist. Allerdings zeigt sich dies auch bei der Gesamtheit der Patienten. Über alle Muskeln lässt sich auch bei den Grauwerten keine Tendenz ableiten. Im Vergleich dazu ergeben sich für die chronische Fazialisparese konstant höhere Grauwerte auf der paretischen Seite zwischen +12,2 % und +22,7 % (Volk 2014b).

Insgesamt ließ sich keine Seitendifferenz nachweisen. Dies hängt wahrscheinlich mit der Auswahl der Patienten zusammen. Die Seitenbetonung wurde dem Diagnosetext im Rahmen der Erstdiagnose entnommen. Diese lag meist mehrere Jahre zurück, außerdem war keiner der untersuchten Patienten ohne Behandlung. So kann eine Seitenbetonung wahrscheinlich nicht nachgewiesen werden. Dies wird dadurch gestützt, dass zur Überprüfung der Seitenbetonung Einzelelemente wie z.B. das Fingertapping aus dem aktuellen Score zum Untersuchungszeitpunkt erfasst wurden. Auch hier konnte nicht bei allen Patienten eine Seitenbetonung gezeigt werden. Zum anderen könnte der fehlende Nachweis von Seitenunterschieden damit zusammenhängen, dass die betonte Seite immer ipsilateral zur am Körper betonten Seite festgelegt wurde. Bei 4 der 14 Patienten fand sich ein linksbetontes Parkinsonsyndrom. In einer Studie von Ozekmekci et al. zeigte sich allerdings die Hypomimie immer rechtsbetont (Ozekmekci et al. 2007). Um diesen Einfluss zu überprüfen, müsste man bei den Patienten mit klinisch betontem Parkinsonsyndrom immer die rechte mit der linken Gesichtshälfte vergleichen. Die nachgewiesenen prozentualen Seitendifferenzen sind aufgrund ihrer Variabilität und der kleinen Werten eher im Rahmen der natürlichen Variabilität der mimischen Muskulatur zu sehen.

5.8 Geschlechtsspezifische Unterschiede und Vergleich mit Referenzwerten

Im Folgenden wurde mittels eines t-Tests untersucht, ob die erhobenen Muskelparameter geschlechtsspezifische Unterschiede aufwiesen.

In Ruhe zeigten sich alle Muskelquerschnittflächen bei Männern signifikant größer als bei Frauen. Einzige Ausnahme stellt die Querschnittfläche des M. depressor labii inferioris dar. Auch sie war bei den Männern größer als bei den Frauen, jedoch nicht signifikant ($\text{♀}=26,65 \text{ mm}^2$; $\text{♂}=29,98 \text{ mm}^2$, $p=0,120$). Auch die Durchmesser der Muskeln, deren Querschnittfläche nicht bestimmt werden konnte, waren bei den Männern signifikant größer als bei den Frauen. Einzig für den M. temporalis konnte kein signifikantes Ergebnis nachgewiesen werden ($\text{♀}=16,61 \text{ mm}$; $\text{♂}=16,35 \text{ mm}$, $p=0,543$). Für den M. frontalis zeigten sich signifikant größere Werte bei den Frauen gegenüber den Männern ($\text{♀}=2,870 \text{ mm}$; $\text{♂}=2,450 \text{ mm}$, $p=0,003$).

Die gefundenen Ergebnisse decken sich mit den geschlechtsspezifischen Unterschieden, die in einer Studie von Volk et al. veröffentlicht wurden. Für die Männer zeigten sich in Ruhe signifikant größere Muskeln als für die Frauen, ein signifikant größerer Durchmesser für den M. frontalis bei Frauen gegenüber den Männern konnte auch in dieser Studie gefunden werden (Volk 2014a). Im Unterschied zu Volk konnte in der vorliegenden Studie keine größere Muskelquerschnittfläche für den M. zygomaticus major gefunden werden. Für den M. depressor labii inferioris zeigte sich kein signifikantes Ergebnis. Dies konnte mit der sehr kleinen Stichprobe von 18 Frauen und 20 Männern zusammenhängen.

In Kontraktion zeigte sich ein etwas anderes Bild. Für den M. mentalis, M. zygomaticus major, M. orbicularis oculi und M. orbicularis oris ergaben sich analog zu den Messwerten in Ruhe signifikant größere Muskelquerschnittflächen bzw. Querdurchmesser bei den Männern gegenüber den Frauen. Für den M. depressor labii inferioris ($\text{♀}=29,08 \text{ mm}^2$; $\text{♂}=31,44 \text{ mm}^2$, $p=0,275$) und den M. temporalis ($\text{♀}=16,81 \text{ mm}$; $\text{♂}=17,16 \text{ mm}$, $p=0,414$) ergaben sich keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede. Dies erschließt sich allerdings aus den ebenfalls nicht signifikanten Unterschieden in Ruhe und der nicht signifikant unterschiedlichen Kontraktilität. Auch bei Volk et al. kann in Kontraktion kein signifikanter Unterschied bei der Querschnittfläche des M. depressor anguli oris gefunden werden (Volk 2014a). Für den M. depressor anguli oris ($\text{♀}=46,71 \text{ mm}^2$; $\text{♂}=47,30 \text{ mm}^2$, $p=0,970$) und den M. masseter ($\text{♀}=13,69 \text{ mm}$; $\text{♂}=14,31 \text{ mm}$, $p=0,205$) zeigten sich größere Werte für die Männer gegenüber den Frauen, diese wurden

aber im Gegensatz zu den Werten in Ruhe nicht signifikant. Diese Diskrepanz zwischen Ruhe und Kontraktion ergibt sich aus der Kontraktilität. Sowohl für den M. depressor anguli oris ($\text{♀}=16,44\%$; $\text{♂}=7,67\%$, $p=0,032$) als auch für den M. masseter ($\text{♀}=10,70\%$; $\text{♂}=7,28\%$, $p=0,027$) ergibt sich eine verbesserte Kontraktilität der Frauen im Vergleich zu den Männern und daraus eine Angleichung der gemessenen Muskelparameter. Die verbesserte Kontraktilität bei den Frauen konnte sich aus der anderen Schwere der Erkrankung gegenüber den Männern ergeben. Die Frauen erreichten im motorischen Teil des MDS-UPDRS im Durchschnitt 31,6 Punkte, während die Männer im Schnitt 35,1 Punkte erreichten. Daraus könnte sich eine größere Beeinträchtigung der Männer ableiten, die zu den schlechteren Werten in der Kontraktilität führt. Außerdem zeigte sich auch bei Referenzwerten gesunder Probanden, dass Frauen den M. depressor anguli oris signifikant stärker kontrahieren konnten, als Männer (Volk 2014a). Eine mögliche Erklärung dafür wäre auch, dass Stimmung und die Expression von Emotionen durch bestimmte Gene bei Frauen beeinflusst werden und sich dies in funktionellen Aspekten der mimischen Muskulatur äußert (Chen et al. 2013). Für den M. frontalis zeigte sich ein entgegengesetztes Bild. Zwar war der Querdurchmesser bei den Frauen weiterhin größer im Vergleich zu den Männern, es ergab sich aber kein signifikantes Ergebnis im t-Test ($\text{♀}=3,56\text{ mm}$; $\text{♂}=3,24\text{ mm}$, $p=0,117$). Hier zeigte sich eine signifikant bessere Kontraktilität bei den Männern gegenüber den Frauen ($\text{♀}=18,07\%$; $\text{♂}=23,39\%$, $p=0,038$), woraus sich die Angleichung der Mittelwerte ergibt.

Insgesamt können die gefundenen Ergebnisse durch die veröffentlichten Referenzwerte gesunder Probanden bestätigt werden. Die Unterschiede der Muskelparameter in Kontraktion sind erklärbar durch die veränderte Kontraktilität im Rahmen des M. Parkinson im Vergleich zu den gesunden Probanden.

5.9 Vergleich der Patientenergebnisse mit den Referenzwerten gesunder Probanden

Um die Veränderungen der mimischen Muskulatur bei Patienten mit M. Parkinson besser einordnen zu können und eine Aussage über das Vorliegen einer Atrophie treffen zu können, wurden die erhobenen Daten mit den Referenzwerten von 140 gesunden Probanden verglichen (Volk 2014a). Dabei wurde in der vorliegenden Studie das gleiche Protokoll verwendet, wie bei Volk et al. Im Vergleich zu den Referenzwerten 140 gesunder Probanden zeigen sich für den M. mentalis (♀ : $38,53\text{ mm}^2$ vs. $52,57\text{ mm}^2$; ♂ : $45,84\text{ mm}^2$ vs. $61,77\text{ mm}^2$), den M.

depressor anguli oris (♀: 32,39 mm² vs. 40,36 mm²; ♂: 43,05 mm² vs. 53,87 mm²) und den M. depressor labii inferioris (♀: 26,65 mm² vs. 42,53 mm²; ♂: 29,98 mm² vs. 47,66 mm²) eine signifikant ($p < 0,013$) kleinere Muskelquerschnittfläche für die Patienten gegenüber den Probanden. Auch für den M. masseter (♀: 12,17 mm vs. 14,44 mm; ♂: 13,25 mm vs. 15,69 mm), den M. temporalis (♀: 16,35 mm vs. 20,30 mm; ♂: 16,61 mm vs. 21,73 mm) sowie für den M. orbicularis oris bei den Frauen (2,28 mm vs. 2,68 mm) ergaben sich signifikant ($p < 0,05$) kleinere Querdurchmesser für die Patienten gegenüber den Probanden. Diese Ergebnisse legen eine Inaktivitätsatrophie der mimischen Muskulatur bei Patienten mit M. Parkinson nahe. Dagegen sprechen die Ergebnisse des M. zygomaticus major. Für die Frauen ergab sich für die Muskelquerschnittfläche kein signifikanter Unterschied (65,35 mm² vs. 73,39 mm², $p = 0,197$). Bei den Männern ergab sich sogar eine signifikant größere Querschnittfläche bei den Patienten gegenüber den Probanden (79,37 mm² vs. 61,25 mm², $p = 0,005$). Auch für den M. orbicularis oculi ergaben sich sowohl für die Frauen als auch für die Männer signifikant größere Querdurchmesser bei den Patienten gegenüber den Probanden (♀: 0,94 mm vs. 0,84 mm, $p = 0,045$; ♂: 1,21 mm vs. 1,00 mm, $p = 0,002$). Für den M. orbicularis oris bei den Männern ergab sich kein signifikanter Unterschied (2,59 mm vs. 2,82 mm, $p = 0,115$). Durch die geringe Fallzahl kann eine Inaktivitätsatrophie aktuell noch nicht bewiesen werden. Gegen eine Inaktivitätsatrophie könnten die Messergebnisse des M. frontalis sprechen (♀: 2,87 mm vs. 2,88 mm, $p = 0,954$; ♂: 2,45 mm vs. 2,35 mm, $p = 0,605$). Andererseits könnte der fehlende Unterschied zwischen den Gruppen bei diesem Muskel die bilaterale corticale Innervation des M. frontalis widerspiegeln (Ozekmekci et al. 2007).

In Kontraktion ergab sich ein ähnliches Muster. Für den M. mentalis (♀: 46,37 mm² vs. 60,68 mm²; ♂: 46,92 mm² vs. 79,40 mm²), den M. depressor anguli oris bei den Männern (47,03 mm² vs. 68,59 mm²), den M. depressor labii inferioris (♀: 29,08 mm² vs. 51,98 mm²; ♂: 31,44 mm² vs. 58,38 mm²) sowie den M. zygomaticus major bei den Frauen (86,34 mm² vs. 122,84 mm²) ergaben sich signifikant ($p < 0,001$) kleinere Muskelquerschnittflächen für die Patienten gegenüber den Probanden. Auch für den M. masseter (♀: 13,69 mm vs. 15,58 mm; ♂: 14,31 mm vs. 17,27 mm), den M. temporalis (♀: 16,81 mm vs. 20,78 mm; ♂: 17,16 mm vs. 22,07 mm) sowie für den M. orbicularis oris (♀: 2,57 mm vs. 3,81 mm; ♂: 2,83 mm vs. 4,20 mm) ergaben sich signifikant ($p < 0,002$) kleinere Querdurchmesser für die Patienten gegenüber den Probanden. Für den M. depressor anguli oris bei den Frauen (46,71 mm² vs. 56,13

mm², p=0,224) sowie für den M. frontalis (♀: 3,56 mm vs. 3,90 mm, p=0,176; ♂: 3,24 mm vs. 3,30 mm, p=0,789) ergaben sich keine signifikanten Seitenunterschiede. Auch für den M. zygomaticus major bei den Männern ergab sich im Gegensatz zum Ruhezustand kein signifikanter Seitenunterschied (105,32 mm² vs. 107,93 mm², p=0,769). Dies ist durch die deutlich geringere Kontraktilität bei den Patienten zu erklären. Für den M. orbicularis oculi ergaben sich sowohl für die Frauen als auch für die Männer signifikant kleinere Querdurchmesser bei den Patienten gegenüber den Probanden (♀: 0,77 mm vs. 1,13 mm, p=<0,001; ♂: 1,01 mm vs. 1,35 mm, p=<0,001). Hier zeigt sich, dass bei den Patienten im Gegensatz zu den Probanden eine negative Muskeldynamik vorliegt. D.h., dass der Querdurchmesser des Muskels bei Kontraktion dünner wird. Bei den gesunden Probanden wird hingegen der Muskel in Kontraktion dicker. Dies lässt sich am ehesten durch eine ungleichmäßige Aktivierung des Muskels erklären, so dass der sonografisch vermessene Muskelausschnitt von anderen, aktiveren Bereichen bei Kontraktion eher passiv gedehnt und damit verschmälert wird, als dies bei gesunden mit gleichmäßiger Muskelaktivierung der Fall ist.

Die Kontraktilität ist im Gegensatz zur Muskelgröße besser vergleichbar mit den Referenzwerten, da sich systematische Fehler beim Messen, aber auch beim Segmentieren aufheben würden und so kaum Auswirkungen hätten.

Für einen Großteil der Muskeln ergab sich eine deutlich verminderte Kontraktilität der Muskeln bei den Patienten gegenüber den Probanden. Für den M. depressor anguli oris (♀: 16,44 % vs. 41,73 %; ♂: 7,67 % vs. 28,21%), den M. depressor labii inferioris (♀: 7,23 % vs. 24,83 %; ♂: 2,83 % vs. 25,27%) sowie für den M. zygomaticus major (♀: 22,32 % vs. 78,83 %; ♂: 22,16 % vs. 90,43%) zeigte sich eine signifikant (p<0,023) geringere Dynamik für die Fläche bei den Patienten im Vergleich zu den Probanden. Auch bei den Muskeln, bei denen nur der Querdurchmesser bestimmt wurde, zeigten sich für den M. orbicularis oculi (♀: -26,04 % vs. 40,82 %; ♂: -22,21 % vs. 37,53%), den M. frontalis (♀: 18,07% vs. 36,84 %; ♂: 23,39 % vs. 46,28%) sowie für den M. orbicularis oris (♀: 9,61 % vs. 47,91 %; ♂: 8,24 % vs. 54,32%) eine signifikant (p<0,002) geringere Muskeldynamik. Für den M. temporalis (♀: 2,79 % vs. 2,48 %, p=0,732; ♂: 3,07 % vs. 1,44%, p=0,313), den M. masseter (♀: 10,70 % vs. 8,32 %, p=0,286; ♂: 7,28 % vs. 10,32%, p=0,095) sowie für den M. mentalis (♀: 15,34 % vs. 18,73 %, p=0,667; ♂: 19,19 % vs. 21,36%, p=0,743) ergibt sich hingegen kein signifikanter Unterschied in der Kontraktilität.

Die Veränderung der Muskeldynamik der Patienten im Vergleich zu den Probanden spiegelt sehr gut die Bradykinese und Hypomimie als charakteristische Zeichen der Erkrankung wider. Dass die Muskeldynamik für die Kaumuskulatur nicht signifikant verändert ist, bekräftigt die Validität der Daten, da Schluck- und Kaubeschwerden erst bei sehr fortgeschrittenen M. Parkinson auftreten und vorher durch einen Trainingseffekt beim täglichen Essen kompensiert werden könnten. Roeder et al. konnten zeigen, dass Patienten mit Parkinson von einer Physiotherapie profitieren, sich ständige Übung also auch positiv auf die Beweglichkeit auswirkt (Roeder et al. 2015). Da die Kaumuskulatur zwangsläufig bei der Nahrungsaufnahme benutzt werden muss, könnte durch die vermehrte Benutzung im Vergleich zur mimischen Muskulatur eine bessere Kontraktilität resultieren. Auch die nicht signifikanten Unterschiede für den M. mentalis könnten darüber erklärt werden. Hur et al. konnten zeigen, dass der M. mentalis über Muskelfasern auch mit dem M. buccinator verbunden ist und so eine wichtige Funktion für das Kauen, Sprechen und den Gesichtsausdruck übernimmt (Hur et al. 2013). Damit könnte auch der M. mentalis besser trainiert sein, als andere mimische Muskeln, die stärker emotionale und kommunikative Aufgaben übernehmen.

Insgesamt eignet sich zum Vergleich von Patientendaten mit Referenzwerten die Muskeldynamik besser als die Muskelgröße. Die Bradykinese lässt sich in Form der verminderten Muskeldynamik sehr gut objektivieren. Um das Untersuchungsprotokoll zu verkürzen und damit praktikabler für den Alltag zu machen, könnten zukünftig die Kaumuskeln oder der M. mentalis als Referenzmuskel verwendet werden, da sich keine signifikanten Unterschiede in der Muskeldynamik zeigen.

5.10 Grauwerte

Neben der Muskelgröße wurden auch die Echointensitäten der einzelnen Muskeln erfasst. Diese haben den Vorteil der höheren Sensitivität und bieten so die Möglichkeit auch kleinere Veränderungen über die Zeit zu erfassen (O'Brien T et al. 2016). Bei neuromuskulären Erkrankungen ergeben sich erhöhte Echointensitäten durch fettigen und bindegewebigen Umbau der Muskulatur (Pillen et al. 2008, Pillen et al. 2003).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Grauwerte der einzelnen Muskeln mittels eines t-Tests auf Seitenunterschiede in Ruhe und Kontraktion überprüft. Bei den Frauen ergaben sich sowohl in Ruhe als auch in Kontraktion mit Ausnahme des M. masseter (Ruhe $p=0,007$; Kontraktion $p=0,003$) und des M. orbicularis oculi (Ruhe $p=0,036$;

Kontraktion $p=0,003$) keine signifikanten Seitenunterschiede. Die Grauwerte in Kontraktion zeigten, ebenfalls mit Ausnahme des M. masseter und des M. orbicularis oculi, kleinere Werte als in Ruhe. Bei den Männern ergaben sich in Ruhe für den M. depressor anguli oris ($p=0,037$), den M. depressor labii inferioris ($p=0,014$) und den M. masseter ($p=0,023$) signifikante Seitenunterschiede. In Kontraktion zeigten sich für den M. mentalis ($p=0,037$), den M. temporalis ($p=0,001$), den M. masseter ($p=0,048$) sowie den M. frontalis ($p=0,040$) signifikante Seitenunterschiede. Die Grauwerte in Kontraktion zeigten, mit Ausnahme des M. masseter sowie des M. frontalis und des M. orbicularis oculi der linken Seite, kleinere Werte als in Ruhe. In der Dissertation von M. Pohlmann wurden die Echointensitäten der einzelnen Muskeln von je 70 Männer und Frauen erhoben. Hier konnten keine Seitenunterschiede erfasst werden. Es zeigte sich Äquivalenz im Äquivalenztest (Pohlmann 2017). Die in der vorliegenden Studie gefundenen Seitenunterschiede könnten darauf hindeuten, dass es eine stärker betonte Seite gibt und diese eventuell weniger genutzt wird, als die andere Seite. Ein Vergleich der erhobenen Echointensitäten mit den von Pohlmann erstellten Referenzwerten gesunder Probanden ist limitiert durch die Verwendung unterschiedlicher Geräte (Scholten et al. 2003). Um einen Vergleich herzustellen, müsste im Vorfeld mittels Kalibrierung an einem Phantom ein Konvertierungsfaktor zwischen den Geräten ermittelt werden (Pillen et al. 2009a). Alternativ könnte die Ermittlung des Faktors aus dem Quotienten zwischen der Echointensität von Muskel und subkutanem Fettgewebe erfolgen (Wu et al. 2010). Dies ist aber nur unter Vorbehalt möglich, wenn das Fettgewebe in den Krankheitsprozess involviert ist (O'Brien T et al. 2016). Für longitudinale Studien kann die Echointensität ein nützliches Werkzeug sein, da gezeigt werden konnte, dass innerhalb des gleichen Geräts sehr gute Inter- und Intraobserver-Reliabilitäten erreicht werden können, auch von Untersuchern mit wenig Erfahrung (O'Brien T et al. 2016, Zaidman et al. 2014). D.h., dass die Umsetzung der sonografischen Messungen erleichtert wäre, da der exakten Reproduktion der Schallebene weniger Bedeutung zu käme, weil die Muskelquerschnittfläche nicht zwangsläufig mit untersucht werden müsste. Damit wäre eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Untersuchern gegeben, die Untersuchungsdauer und Auswertungsdauer könnte verkürzt werden und es könnten auch kleinere Veränderungen innerhalb der Muskeln erfasst werden.

5.11 Korrelationen

5.11.1 Korrelation der Muskelgröße mit den biometrischen Merkmalen der Patienten

Wie bereits beschrieben, konnten deutliche geschlechtsspezifische Unterschiede der Muskelgrößen gefunden werden. Dies kann durch Untersuchungen der mimischen Muskulatur bei gesunden Probanden bestätigt werden (Volk 2014a). Auch bei Untersuchungen der Skelettmuskulatur konnte bereits gezeigt werden, dass Männer normalerweise größere Muskeln besitzen als Frauen und dass der prozentuale Anteil der Muskelmasse am Gesamtkörpergewicht abhängig von Konstitution und Trainingszustand größer ist (Rankin et al. 2005, Reimers et al. 1998, Hollmann und Strüder 2009). In einer Studie zum M. masseter konnte ebenfalls gezeigt werden, dass der Muskel bei Männern gegenüber Frauen größer war, eine positive Korrelation zum bizygomatischen Abstand und eine negative Korrelation mit der Länge des Gesichts bestand. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die Muskeldicke mit dem Alter sogar zunahm (Raadsheer et al. 1996).

In der vorliegenden Arbeit wurde auf eine Korrelation der Muskelgröße mit dem Alter verzichtet, da dabei ein großer Stichprobenumfang sowie eine große Alterspanne vorausgesetzt ist und bereits gezeigt werden konnte, dass das Alter kaum Einfluss auf die Muskelgröße zeigt (Kiliaridis und Kalebo 1991, Volk 2014a). Bei der Untersuchung der Korrelation zwischen der Muskelgröße und dem Körpergewicht zeigten sich überwiegend sehr geringe bis geringe Korrelationen. Für die Frauen zeigte sich eine mittel starke Korrelation für den M. temporalis ($r_s=0,552$; $p=0,018$) und eine hohe Korrelation für den M. frontalis ($r_s=0,716$; $p=0,001$). Auch bei den Männern ergab sich eine mittel hohe Korrelation für den M. frontalis ($r_s=0,593$; $p=0,006$). Wie auch schon bei Sauer zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Muskeln, woraus geschlossen werden kann, dass die Größen der einzelnen mimischen Muskeln unterschiedlich stark durch das Körpergewicht beeinflusst werden (Sauer 2013). Dies spiegelt sich auch bei der Korrelation mit dem BMI wider. Auch hier ergaben sich nur sehr geringe bis geringe Korrelationen, mit Ausnahme einer mittel starken Korrelation für den M. frontalis (♀: $r_s=0,666$; $p=0,003$; ♂: $r_s=0,544$; $p=0,013$). Auch der Zusammenhang der Muskelgröße mit der Körpergröße wurde untersucht. Hier ergaben sich ebenfalls nur sehr geringe bis geringe teils positive, teils negative Korrelationen, die nicht signifikant waren. Einzige Ausnahme bildete der M. depressor labii inferioris bei den Frauen ($r_s=-0,478$;

$p=0,045$). Der geringe bzw. fehlende Einfluss der Körpergröße auf die Muskelgröße wurde ebenfalls durch Maik Sauer gefunden (Sauer 2013).

Bei Untersuchungen zur Kaumuskulatur konnten nicht nur geschlechtsspezifische Unterschiede gefunden werden, sondern auch Zusammenhänge der Muskelgröße mit der Länge des Gesichtes sowie dem bizygomatischen Abstand (Raadsheer et al. 1996). Auch in einer Studie von Kiliaridis konnte gezeigt werden, dass ein längeres Gesicht mit dünneren Muskeln einhergeht (Kiliaridis und Kalebo 1991). Um den Einfluss der Maße des Gesichtes auf die Größe der mimischen Muskulatur zu überprüfen, wurde in der vorliegenden Arbeit der Kopfumfang, der bizygomatische Abstand sowie die mentomentale Länge bestimmt. Bei den Frauen zeigten sich dabei überwiegend sehr geringe bis geringe, nicht signifikante Korrelationen. Für den M. frontalis ($r_s=0,491$; $p=0,039$) ergab sich eine geringe signifikante Korrelation zum Kopfumfang und eine geringe Korrelation zur mentomentalen Länge ($r_s=0,461$; $p=0,054$). Für den M. depressor labii inferioris ($r_s=-0,487$; $p=0,041$) zeigte sich eine geringe negative signifikante Korrelation zum bizygomatischen Abstand. Bei den Männern ergaben sich für den Kopfumfang und die mentomentale Länge mit Koeffizienten $\leq 0,497$ überwiegend geringe bis sehr geringe Korrelationen. Für den M. frontalis ergab sich eine geringe Korrelation zum Kopfumfang, die aber nicht signifikant wurde ($r_s=0,429$; $p=0,059$). Für den M. depressor anguli oris ($r_s=0,497$; $p=0,026$) ergab sich eine geringe signifikante Korrelation zur mentomentalen Länge. Bei der Korrelation mit dem bizygomatischen Abstand ergaben sich für den M. mentalis ($r_s=0,663$; $p=0,001$), den M. depressor anguli oris ($r_s=0,671$; $p=0,001$), den M. depressor labii inferioris ($r_s=0,457$; $p=0,034$) sowie den M. zygomaticus major ($r_s=0,524$; $p=0,018$) mittel starke signifikante Korrelationen. Für den M. orbicularis oculi ($r_s=0,743$; $p<0,001$) ergab sich sogar eine starke signifikante Korrelation zum bizygomatischen Abstand. Insgesamt zeigt sich ein größerer Einfluss der Maße des Gesichtes auf die Muskelgröße bei den Männern gegenüber den Frauen. Vor allem die Breite des Gesichtes hat einen Einfluss auf die Muskelgröße, weniger die Länge des Gesichtes und der Kopfumfang. Der Einfluss der individuellen Abmessung des Gesichtes auf die Muskelgröße scheint plausibel, da die mimischen Muskeln zwischen verschiedenen Punkten des Gesichtes inserieren und durch die Verschiebung einzelner Strukturen den Gesichtsausdruck beeinflussen. Nimmt der Abstand zwischen diesen Punkten, z.B. durch Zunahme des bizygomatischen Abstands, zu vergrößert sich auch das Volumen der Muskeln. Die geringen

Korrelationskoeffizienten und das teilweise inhomogene Bild von positiver und negativer Korrelation könnten mit der kleinen Fallzahl zusammenhängen.

5.11.2 Korrelation der Muskelgröße mit den klinischen Parametern der Patienten

Neben der Korrelation zu den biometrischen Daten der Patienten sollte auch der Zusammenhang zu den erhobenen klinischen Parametern überprüft werden. Dazu wurden die Muskelgröße in Ruhe sowie die Kontraktilität mit den Punktwerten des MDS-UPDRS III sowie den Einzelementen Gesichtsausdruck und Fingertapping korreliert.

Mit Korrelationskoeffizienten $\leq 0,428$ für den MDS-UPDRS 3, $\leq 0,493$ für den Gesichtsausdruck und $\leq 0,380$ für das Fingertapping zeigten sich sowohl für die Frauen als auch die Männer nur geringe bis sehr geringe Korrelationen zur Muskelgröße in Ruhe. Einzig für den M. zygomaticus major ($r_s=0,550$; $p=0,012$) zeigte sich eine mittel starke Korrelation mit dem Punktwert des MDS-UPDRS III und für den M. frontalis ($r_s=0,493$; $p=0,032$) zeigte sich eine geringe signifikante Korrelation mit dem Gesichtsausdruck. Insgesamt lässt sich keine klare Tendenz zu positiver oder negativer Korrelation ablesen. Auch für die Kontraktilität ergaben sich mit Korrelationskoeffizienten $\leq 0,464$ für den MDS-UPDRS III, $\leq 0,393$ für den Gesichtsausdruck und $\leq 0,359$ für das Fingertapping nur sehr geringe bis geringe Korrelationen für Frauen und Männer. Einzig die Kontraktilität des M. depressor labii inferioris der linken Seite bei den Frauen ($r_s=-0,518$; $p=0,028$) und der rechten Seite bei den Männern ($r_s=-0,515$; $p=0,020$) zeigt eine mittel starke signifikante Korrelation mit dem Element Fingertapping. Insgesamt zeigen sich überwiegend negative Korrelationen. Dies spricht dafür, dass mit der Schwere der Erkrankung und damit mit höheren Punktwerten in den klinischen Scores die Kontraktionsfähigkeit der Muskulatur abnimmt. Somit könnte bei Verbesserung der Therapie und damit geringeren Punktzahlen im MDS-UPDRS auch eine verbesserte Kontraktilität in der Sonografie nachgewiesen werden. In longitudinalen Studien könnte so die Sonografie als Instrument zum Therapiemonitoring genutzt werden. Allerdings zeigen sich in der aktuellen Studie kaum signifikante Korrelationen. Dies kann bedingt sein durch die kleine Fallzahl. Fasst man alle 38 Patienten zusammen und korreliert die Kontraktilität mit den Punktwerten aus dem MDS-UPDRS III, ergeben sich ebenfalls keine wegweisenden Korrelationen. Eine mögliche Fehlerquelle stellt die Erhebung der Scores dar. Zwar wurde darauf geachtet, möglichst aktuelle Punktwerte aus den

Scores in der Woche der sonografischen Untersuchung zu erheben, allerdings war dies nicht immer möglich. Zusätzlich unterlagen alle Patienten einer Vorbehandlung, die die Messungen beeinflussen kann. Daher wäre es sinnvoll in Folgestudien ein größeres Patientenkollektiv zu untersuchen und eine Korrelation mit der L-Dopa Äquivalenzdosis zu realisieren. Dies wäre deutlich objektiver, als die Punktwerte aus den Scores zu verwenden.

Für den M. zygomaticus major, den M. frontalis sowie den M. depressor labii inferioris zeigen sich teilweise signifikante Korrelationen von Muskelgröße und Kontraktilität zu den klinischen Scores. Um das Sonografieprotokoll für die klinische Anwendung praktikabler zu gestalten und Untersuchungszeit sowie die benötigte Zeit zur Quantifizierung zu verkürzen, wäre es sinnvoll, zukünftig einige wenige Kennmuskeln auszuwählen, die besonders sensitiv die Veränderungen unter der Therapie widerspiegeln. Diese Muskeln (M. zygomaticus major, der M. frontalis sowie der M. depressor anguli oris) könnten dafür gut geeignet sein, da sie bei der geringen Fallzahl schon signifikante Korrelationen aufweisen.

6. Schlussfolgerungen

Das Protokoll zur Sonografie der mimischen Muskulatur, welches zunächst für die Fazialisparese entwickelt wurde, kann auf Patienten mit M. Parkinson übertragen werden. Veränderungen der mimischen Muskeln können nachgewiesen werden, insbesondere die Bradykinese als eines der Hauptsymptome der Erkrankung lässt sich in Form der verminderten Muskeldynamik abbilden. Durch die bereits vorhandenen Referenzwerte gesunder Probanden lassen sich die Messergebnisse objektiv einordnen. Daraus ergeben sich Perspektiven u.a. hinsichtlich Medikamenteneinstellung oder Therapiemonitoring. In longitudinalen Studien könnten zukünftig die Auswirkungen verschiedener Therapien oder der Krankheitsstadien auf die Muskeldynamik objektiviert werden. Unter dopaminerger Therapie sollten sich die Symptome wie z.B. die Bradykinese verbessern. Dies resultiert dann auch in einer gesteigerten Muskeldynamik. Da die Sonografie außerdem ein nicht invasives, kostengünstiges und reliables Verfahren darstellt, welches schnell durchführbar und nahezu nebenwirkungsfrei ist, könnte es eine Bereicherung zu etablierten Scores zur Einschätzung der Schwere der Erkrankung darstellen. Hierzu könnte das Protokoll auf zwei Kennmuskeln verkürzt werden, um den Zeitaufwand weiter einzuschränken. Geeignet wären z.B. der M. zygomaticus major sowie der M. orbicularis oculi, deren Kontraktilität im Vergleich zu den gesunden Probanden am stärksten vermindert waren. Dazu müssten in nachfolgenden Studien longitudinale Messungen durchgeführt werden, die die Veränderungen der mimischen Muskulatur unter verschiedener Therapie betrachten. Zusätzlich sollten Korrelationen zu weiteren klinischen Parametern, v.a. der L-Dopa-Äquivalenzdosis vorgenommen werden. Um das Protokoll für den klinischen Alltag noch praktikabler zu gestalten und den Zeitaufwand weiter zu verkürzen, sollten Kennmuskeln evaluiert werden, die die Veränderungen am sensitivsten widerspiegeln und somit exemplarisch untersucht werden können.

Da mittels der Sonografie mit nur mäßigem Aufwand krankheitsspezifische Veränderungen der mimischen Muskulatur nachgewiesen werden können, ist es denkbar, dass das Protokoll zukünftig auch bei anderen neuromuskulären Erkrankungen wie z.B. Amyotropher Lateralsklerose Anwendung findet und weitere Erkenntnisse über die Veränderungen der mimischen Muskulatur gewonnen werden können.

7. Quellenverzeichnis

- Agostino R, Bologna M, Dinapoli L, Gregori B, Fabbrini G, Accornero N, Berardelli A. 2008. Voluntary, spontaneous, and reflex blinking in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 23 (5):669-675.
- Alfen NV. 2013. Quantitative facial muscle ultrasound: feasibility and reproducibility. *Muscle Nerve*, 48 (3):375-380.
- Argaud S, Delplanque S, Houvenaghel JF, Auffret M, Duprez J, Verin M, Grandjean D, Sauleau P. 2016. Does Facial Amimia Impact the Recognition of Facial Emotions? An EMG Study in Parkinson's Disease. *PLoS One*, 11 (7):e0160329.
- Arts IM, van Rooij FG, Overeem S, Pillen S, Janssen HM, Schelhaas HJ, Zwarts MJ. 2008. Quantitative muscle ultrasonography in amyotrophic lateral sclerosis. *Ultrasound Med Biol*, 34 (3):354-361.
- Balogh B, Fruhwald F, Millesi W, Millesi H, Firbas W. 1988. Sonoanatomy of the muscles of facial expression. *Surg Radiol Anat*, 10 (2):101-106.
- Berardelli A, Rothwell JC, Thompson PD, Hallett M. 2001. Pathophysiology of bradykinesia in Parkinson's disease. *Brain*, 124 (Pt 11):2131-2146.
- Berg D, Postuma RB, Adler CH, Bloem BR, Chan P, Dubois B, Gasser T, Goetz CG, Halliday G, Joseph L, Lang AE, Liepelt-Scarfone I, Litvan I, Marek K, Obeso J, Oertel W, Olanow CW, Poewe W, Stern M, Deuschl G. 2015. MDS research criteria for prodromal Parkinson's disease. *Mov Disord*, 30 (12):1600-1611.
- Bologna M, Fasano A, Modugno N, Fabbrini G, Berardelli A. 2012. Effects of subthalamic nucleus deep brain stimulation and L-DOPA on blinking in Parkinson's disease. *Exp Neurol*, 235 (1):265-272.
- Bologna M, Fabbrini G, Marsili L, Defazio G, Thompson PD, Berardelli A. 2013. Facial bradykinesia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 84 (6):681-685.
- Borod JC, Koff E, Perlman Lorch M, Nicholas M. 1986. The expression and perception of facial emotion in brain-damaged patients. *Neuropsychologia*, 24 (2):169-180.
- Borod JC, Kent J, Koff E, Martin C, Alpert M. 1988. Facial asymmetry while posing positive and negative emotions: support for the right hemisphere hypothesis. *Neuropsychologia*, 26 (5):759-764.
- Bowers D, Miller K, Bosch W, Gokcay D, Pedraza O, Springer U, Okun M. 2006. Faces of emotion in Parkinson's disease: micro-expressivity and bradykinesia during voluntary facial expressions. *J Int Neuropsychol Soc*, 12 (6):765-773.
- Braak H, Del Tredici K, Rub U, de Vos RA, Jansen Steur EN, Braak E. 2003. Staging of brain pathology related to sporadic Parkinson's disease. *Neurobiol Aging*, 24 (2):197-211.
- Bühl A. 2016. SPSS 23: Einführung in die moderne Datenanalyse. 15., überarb. und erw. Aufl., Aufl. München [u.a]: Pearson Studium.
- Caligiuri MP. 1987. Labial kinematics during speech in patients with parkinsonian rigidity. *Brain*, 110 (Pt 4):1033-1044.
- Chen H, Pine DS, Ernst M, Gorodetsky E, Kasen S, Gordon K, Goldman D, Cohen P. 2013. The MAOA gene predicts happiness in women. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 40:122-125.
- Cho KH, Lee HJ, Lee WH. 2017. Intra- and inter-rater reliabilities of measurement of ultrasound imaging for muscle thickness and pennation angle of tibialis anterior muscle in stroke patients. *Top Stroke Rehabil*:1-6.
- Darwin C. 1872 The expression of the emotions in man and animals London: John Murray. De DiegoSastre JI, PrimEspada MP, FernandezGarcia F. 2005. [The epidemiology of Bell's palsy]. *Rev Neurol*, 41 (5):287-290.
- de Korte CL, van Hees N, Lopata RG, Weijers G, Katsaros C, Thijssen JM. 2009. Quantitative assessment of oral orbicular muscle deformation after cleft lip reconstruction: an ultrasound elastography study. *IEEE Trans Med Imaging*, 28 (8):1217-1222.
- Delcker A, Walker F, Caress J, Hunt C, Tegeler C. 1999. In vitro measurement of muscle volume with 3-dimensional ultrasound. *Eur J Ultrasound*, 9 (2):185-190.

- Ellgring H, Seiler S, Perleth B, Frings W, Gasser T, Oertel W. 1993. Psychosocial aspects of Parkinson's disease. *Neurology*, 43 (12 Suppl 6):S41-44.
- Engels S, Handl D. 2015. Partial Volume effect und Subvoxel-Genauigkeit - Analyse von Mikro-CT Daten mit VGStudio MAX [Vortrag]. In: 3. Jenaer Mikro-CT-Workshop.
- Freeman JS, Cody FW, Schady W. 1993. The influence of external timing cues upon the rhythm of voluntary movements in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 56 (10):1078-1084.
- Freilinger G, Happak W, Burggasser G, Gruber H. 1990. Histochemical mapping and fiber size analysis of mimic muscles. *Plast Reconstr Surg*, 86 (3):422-428.
- Freilinger G, Gruber H, Happak W, Pechmann U. 1987. Surgical anatomy of the mimic muscle system and the facial nerve: importance for reconstructive and aesthetic surgery. *Plast Reconstr Surg*, 80 (5):686-690.
- Frühwald F, Hrsg. 1988. Faciale Weichteile. In: Czembirek H, Frühwald F, Gritzmann N, Hrsg. *KopfHalsSonographie*. Erste Aufl. Wien [u.a.]: Springer, 5970.
- Ghasemi A, Zahediasl S. 2012. Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians. *Int J Endocrinol Metab*, 10 (2):486-489.
- Goetz CG, Fahn S, Martinez-Martin P, Poewe W, Sampaio C, Stebbins GT, Stern MB, Tilley BC, Dodel R, Dubois B, Holloway R, Jankovic J, Kulisevsky J, Lang AE, Lees A, Leurgans S, LeWitt PA, Nyenhuis D, Olanow CW, Rascol O, Schrag A, Teresi JA, Van Hilten JJ, LaPelle N. 2007. Movement Disorder Society-sponsored revision of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale (MDS-UPDRS): Process, format, and clinimetric testing plan. *Mov Disord*, 22 (1):41-47.
- Hadda V, Kumar R, Dhungana A, Khan MA, Madan K, Khilnani GC. 2017. Inter- and intra-observer variability of ultrasonographic arm muscle thickness measurement by critical care physicians. *J Postgrad Med*.
- Hallett M, Khoshbin S. 1980. A physiological mechanism of bradykinesia. *Brain*, 103 (2):301-314.
- Harding AJ, Stimson E, Henderson JM, Halliday GM. 2002. Clinical correlates of selective pathology in the amygdala of patients with Parkinson's disease. *Brain*, 125 (Pt 11):2431-2445.
- Hayashi A, Kagamihara Y, Nakajima Y, Narabayashi H, Okuma Y, Tanaka R. 1988. Disorder in reciprocal innervation upon initiation of voluntary movement in patients with Parkinson's disease. *Exp Brain Res*, 70 (2):437-440.
- Heckmatt JZ, Leeman S, Dubowitz V. 1982. Ultrasound imaging in the diagnosis of muscle disease. *J Pediatr*, 101 (5):656-660.
- Herrera E, Cuetos F, Rodriguez-Ferreiro J. 2011. Emotion recognition impairment in Parkinson's disease patients without dementia. *J Neurol Sci*, 310 (1-2):237-240.
- Hollmann W, Strüder H. 2009. *Sportmedizin: Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin*. 5. Auflage. Stuttgart: Schattauer GmbH.
- Hornykiewicz O. 1966. Dopamine (3-hydroxytyramine) and brain function. *Pharmacol Rev*, 18 (2):925-964.
- Hur MS, Kim HJ, Choi BY, Hu KS, Kim HJ, Lee KS. 2013. Morphology of the mentalis muscle and its relationship with the orbicularis oris and incisivus labii inferioris muscles. *J Craniofac Surg*, 24 (2):602-604.
- International Anatomical Nomenclature Committee and International Congress of Anatomists. 1989. *Nomina anatomica : authorised by the Twelfth International Congress of Anatomists in London, 1985*. 6.te Aufl. Edinburgh [u.a.]: Churchill Livingstone.
- Jankovic J. 2008. Parkinson's disease: clinical features and diagnosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 79 (4):368-376.
- Karson CN. 1983. Spontaneous eye-blink rates and dopaminergic systems. *Brain*, 106 (Pt 3):643-653.
- Katsikitis M, Pilowsky I. 1991. A controlled quantitative study of facial expression in Parkinson's disease and depression. *J Nerv Ment Dis*, 179 (11):683-688.
- Katsikitis M, Pilowsky I. 1996. A controlled study of facial mobility treatment in Parkinson's disease. *J Psychosom Res*, 40 (4):387-396.

- Kiliaridis S, Kalebo P. 1991. Masseter muscle thickness measured by ultrasonography and its relation to facial morphology. *J Dent Res*, 70 (9):1262-1265.
- Kiliaridis S, Mills CM, Antonarakis GS. 2010. Masseter muscle thickness as a predictive variable in treatment outcome of the twin-block appliance and masseteric thickness changes during treatment. *Orthod Craniofac Res*, 13 (4):203-213.
- Klockgether T, Dichgans J. 1994. Visual control of arm movement in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 9 (1):48-56.
- Krentz H. 2005. Statistische analysen mit SPSS in der Medizin. Aufl. Aachen: Shaker.
- Lopata RG, van Dijk JP, Pillen S, Nillesen MM, Maas H, Thijssen JM, Stegeman DF, de Korte CL. 2010. Dynamic imaging of skeletal muscle contraction in three orthogonal directions. *J Appl Physiol* (1985), 109 (3):906-915.
- McAlister RW, Harkness EM, Nicoll JJ. 1998. An ultrasound investigation of the lip levator musculature. *Eur J Orthod*, 20 (6):713-720.
- Millesi W, Fruhwald F, Balogh B, Scholz F. 1988. [Clinical imaging of the mimetic muscles using high resolution ultrasound]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*, 20 (2):59-62.
- Mink JW. 1996. The basal ganglia: focused selection and inhibition of competing motor programs. *Prog Neurobiol*, 50 (4):381-425.
- O'Brien T G, Cazares Gonzalez ML, Ghosh PS, Mandrekar J, Boon AJ. 2016. Reliability of a novel ultrasound system for gray-scale analysis of muscle. *Muscle Nerve*.
- Overas CK, Myhrvold BL, Rosok G, Magnesen E. 2017. Musculoskeletal diagnostic ultrasound imaging for thickness measurement of four principal muscles of the cervical spine -a reliability and agreement study. *Chiropr Man Therap*, 25:2.
- Ozekmekci S, Benbir G, Ozdogan FY, Ertan S, Kiziltan ME. 2007. Hemihypomimia, a rare persistent sign in Parkinson's disease: follow up of 11 patients. *J Neurol*, 254 (3):347-350.
- Pettrons P. 2002. Ultrasound of muscles. *Eur Radiol*, 12 (1):35-43.
- Pentland B, Gray JM, Riddle WJ, Pitcairn TK. 1988. The effects of reduced non-verbal communication in Parkinson's disease. *Br J Disord Commun*, 23 (1):31-34.
- Pillen S, van Alfen N. 2011. Skeletal muscle ultrasound. *Neurol Res*, 33 (10):1016-1024.
- Pillen S, Arts IM, Zwarts MJ. 2008. Muscle ultrasound in neuromuscular disorders. *Muscle Nerve*, 37 (6):679-693.
- Pillen S, Scholten RR, Zwarts MJ, Verrips A. 2003. Quantitative skeletal muscle ultrasonography in children with suspected neuromuscular disease. *Muscle Nerve*, 27 (6):699-705.
- Pillen S, van Dijk JP, Weijers G, Raijmann W, de Korte CL, Zwarts MJ. 2009a. Quantitative gray-scale analysis in skeletal muscle ultrasound: a comparison study of two ultrasound devices. *Muscle Nerve*, 39 (6):781-786.
- Pillen S, Tak RO, Zwarts MJ, Lammens MM, Verriyp KN, Arts IM, van der Laak JA, Hoogerbrugge PM, van Engelen BG, Verrips A. 2009b. Skeletal muscle ultrasound: correlation between fibrous tissue and echo intensity. *Ultrasound Med Biol*, 35 (3):443-446.
- Poewe W, Seppi K, Tanner CM, Halliday GM, Brundin P, Volkman J, Schrag AE, Lang AE. 2017. Parkinson disease. *Nat Rev Dis Primers*, 3:17013.
- Pohlmann M. 2017. Dynamische Sonographie und Echointensitätsanalyse der mimischen Muskulatur bei Probanden und Patienten mit chronischer Fazialisparese [Dissertation]. Jena: Friedrich-Schiller-Universität. In: Jena, editor. 2017.
- Postuma RB, Berg D, Stern M, Poewe W, Olanow CW, Oertel W, Obeso J, Marek K, Litvan I, Lang AE, Halliday G, Goetz CG, Gasser T, Dubois B, Chan P, Bloem BR, Adler CH, Deuschl G. 2015. MDS clinical diagnostic criteria for Parkinson's disease. *Mov Disord*, 30 (12):1591-1601.
- Raadsheer MC, Van Eijden TM, Van Ginkel FC, Prah-Andersen B. 2004. Human jaw muscle strength and size in relation to limb muscle strength and size. *Eur J Oral Sci*, 112 (5):398-405.
- Raadsheer MC, Kiliaridis S, Van Eijden TM, Van Ginkel FC, Prah-Andersen B. 1996. Masseter muscle thickness in growing individuals and its relation to facial morphology. *Arch Oral Biol*, 41 (4):323-332.

- Rani S, Ravi MS. 2010. Masseter muscle thickness in different skeletal morphology: an ultrasonographic study. *Indian J Dent Res*, 21 (3):402-407.
- Rankin G, Stokes M, Newham DJ. 2005. Size and shape of the posterior neck muscles measured by ultrasound imaging: normal values in males and females of different ages. *Man Ther*, 10 (2):108-115.
- Reimers CD, Harder T, Saxe H. 1998. Age-related muscle atrophy does not affect all muscles and can partly be compensated by physical activity: an ultrasound study. *J Neurol Sci*, 159 (1):60-66.
- Reimers CD, Schlotter B, Eicke BM, Witt TN. 1996. Calf enlargement in neuromuscular diseases: a quantitative ultrasound study in 350 patients and review of the literature. *J Neurol Sci*, 143 (1-2):46-56.
- Roeder L, Costello JT, Smith SS, Stewart IB, Kerr GK. 2015. Effects of Resistance Training on Measures of Muscular Strength in People with Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One*, 10 (7):e0132135.
- Sackeim HA, Gur RC. 1978. Lateral asymmetry in intensity of emotional expression. *Neuropsychologia*, 16 (4):473-481.
- Sackeim HA, Gur RC, Saucy MC. 1978. Emotions are expressed more intensely on the left side of the face. *Science*, 202 (4366):434-436.
- Satioglu F, Arun T, Isik F. 2005. Comparative data on facial morphology and muscle thickness using ultrasonography. *Eur J Orthod*, 27 (6):562-567.
- Sauer M. 2013. Statische und dynamische Sonographie der mimischen Muskulatur bei Probanden und Patienten mit peripherer Fazialisparese - Erhebung geschlechtsspezifischer Referenzbereiche [Dissertation] Jena: Friedrich-Schiller-Universität
- Sauer M, Guntinas-Lichius O, Volk GF. 2016. Ultrasound echomyography of facial muscles in diagnosis and follow-up of facial palsy in children. *Eur J Paediatr Neurol*, 20 (4):666-670.
- Scholten RR, Pillen S, Verrips A, Zwarts MJ. 2003. Quantitative ultrasonography of skeletal muscles in children: normal values. *Muscle Nerve*, 27 (6):693-698.
- Schüler T. 2016. Static and dynamic sonography of facial muscles in healthy subjects – Impact of the process of manual muscle segmentation on inter-observer-reliability [Vortrag]. In: Hagendorff, AHJ; Gilja, OH, Hrsg. *Ultraschall in Med 2016*; 37(S 01): S1-S78, DEGUM 2016 40. Dreiländertreffen DEGUM, ÖGUM, SGUM – 28th Euroson Congress of the EFSUMB, Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- Schünke M, Schulte, E, Schuhmacher, U. 2006. *Prometheus Kopf, Hals und Neuroanatomie*. 3. Auflage Aufl. Stuttgart: Thieme.
- Schwartz GE, Ahern GL, Brown SL. 1979. Laterized facial muscle response to positive and negative emotional stimuli. *Psychophysiology*, 16 (6):561-571.
- Simons G, Pasqualini MC, Reddy V, Wood J. 2004. Emotional and nonemotional facial expressions in people with Parkinson's disease. *J Int Neuropsychol Soc*, 10 (4):521-535.
- Smith J, Finnoff JT. 2009. Diagnostic and interventional musculoskeletal ultrasound: part 2. Clinical applications. *PM R*, 1 (2):162-177.
- Umemura A, Toyoda T, Yamamoto K, Oka Y, Ishii F, Yamada K. 2008. Apraxia of eyelid opening after subthalamic deep brain stimulation may be caused by reduction of levodopa. *Parkinsonism Relat Disord*, 14 (8):655-657.
- Vinkka-Puhakka H, Kean MR, Heap SW. 1989. Ultrasonic investigation of the circumoral musculature. *J Anat*, 166:121-133.
- Volk GF. 2013. Quantitative ultrasonography of facial muscles. *Muscle & nerve*, 47 (6):878-883.
- Volk GF. 2014a. Reference values for dynamic facial muscle ultrasonography in adults. *Muscle & nerve*, 50 (3):348-357.
- Volk GF. 2014b. Quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with chronic facial palsy. *Muscle & nerve*, 50 (3):358-365.
- Volk GF, Leier C, Guntinas-Lichius O. 2016. Correlation between electromyography and quantitative ultrasonography of facial muscles in patients with facial palsy. *Muscle Nerve*, 53 (5):755-761.

- Wager TD, Phan KL, Liberzon I, Taylor SF. 2003. Valence, gender, and lateralization of functional brain anatomy in emotion: a meta-analysis of findings from neuroimaging. *Neuroimage*, 19 (3):513-531.
- Walker FO, Macdonald JA. 2012. Electrically silent muscle visible by ultrasound. *J Clin Neuromuscul Dis*, 13 (3):159-161.
- Walker FO, Donofrio PD, Harpold GJ, Ferrell WG. 1990. Sonographic imaging of muscle contraction and fasciculations: a correlation with electromyography. *Muscle Nerve*, 13 (1):33-39.
- Waller BM. 2008. Selection for universal facial emotion. *Emotion (Washington, DC)*, 8 (3):435-439.
- Weiss D, Wachter T, Breit S, Jacob SN, Pomper JK, Asmus F, Valls-Sole J, Plewnia C, Gasser T, Gharabaghi A, Kruger R. 2010. Involuntary eyelid closure after STN-DBS: evidence for different pathophysiological entities. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 81 (9):1002-1007.
- Wirtz M, Casper F. 2002. Beurteilungsübereinstimmung und Beurteilerreliabilität: Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von einschränkungen mittels Kategoriesystemen und Ratingskalen. Aufl. Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
- Wu JS, Darras BT, Rutkove SB. 2010. Assessing spinal muscular atrophy with quantitative ultrasound. *Neurology*, 75 (6):526-531.
- Wystub N. 2012. Quantitative sonographie der mimischen Muskulatur Jena: [Dissertation: Friedrich-Schiller-Universität.
- Zaidman CM, Wu JS, Wilder S, Darras BT, Rutkove SB. 2014. Minimal training is required to reliably perform quantitative ultrasound of muscle. *Muscle Nerve*, 50 (1):124-128.
- Zilles K, Tillmann, BN, Zilles, T. 2010. Anatomie : mit 121 Tabellen. Aufl. Heidelberg [u.a.]:Springer.

8. Anhang

8.1 Danksagung

Ich möchte mich bei allen Beteiligten bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben. Besonderer Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. O. Guntinas-Lichius, Direktor der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde der Friedrich-Schiller-Universität Jena, für die Überlassung des Dissertationsthemas und die Unterstützung bei der Erstellung der Arbeit. Ich danke vor allem für die schnelle Beantwortung aller Fragen und die zahlreichen Anmerkungen und Korrekturvorschläge.

Herrn PD Dr. G.F. Volk, Oberarzt der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde der Friedrich-Schiller-Universität Jena, für die sehr gute Betreuung während des gesamten Zeitraumes der Anfertigung dieser Arbeit. Ich danke für die ständige Erreichbarkeit bei Fragen aller Art.

Herrn PD Dr. T. Prell, Oberarzt der Klinik für Neurologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena, für die Unterstützung bei der Rekrutierung der Patienten sowie für die kritische Durchsicht des Skriptes und zahlreiche Anregungen.

Frau C. Partschefeld, medizinische Fachangestellte der Klinik für Neurologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena, für die Unterstützung bei der Rekrutierung der Patienten und bei der Lösung aller aufkommenden Fragen.

Frau Dr. H. Hoyer, Institut für medizinische Statistik, Informatik und Dokumentation der Friedrich-Schiller-Universität Jena, für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Ein besonderer Dank gilt außerdem Frau T. Schüler, Frau K. Suschke sowie meinen Eltern.

8.2 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich,

- dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,
- dass ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,
- dass mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:
Herr Prof. Dr. O. Guntinas-Lichius, Herr PD Dr. G.F. Volk, Herr PD Dr. T. Prell
- dass die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,
- dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und
- dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena,

(Anne Heinzl)

8.3 Aufklärungsbogen

Patienteninformation zur Sonographie der mimischen Muskulatur

Titel der Studie:

„Sonographie der Inaktivitätsatrophie und
Aktivitätshypertrophie der mimischen Muskulatur“

Es gibt Erkrankungen, bei denen es zu veränderter Ansteuerung der mimischen Gesichtsmuskulatur kommt. Beim Parkinson beispielsweise ist die Ansteuerung der mimischen Muskulatur vermindert, was häufig als maskenhaft beschriebener Gesichtsausdruck sichtbar wird.

Ziel dieser Studie soll es sein, neue Erkenntnisse über die mimische Muskulatur von Patienten mit Parkinson mittels Sonographie (Sono-, oder auch Ultraschall-Untersuchung genannt) zu gewinnen, um damit z.B. Rückschlüsse auf die Schwere der Erkrankung oder die optimale Dosierung der medikamentösen Therapie ziehen zu können. Wir hoffen damit zukünftig z.B. die Therapie mit Medikamenten noch besser auf den einzelnen Patienten abstimmen zu können.

Die Sonographie-Untersuchung ist ein häufig eingesetztes bildgebendes Verfahren in der Medizin und ohne jegliche Strahlenbelastung, so dass die Untersuchung für den Teilnehmer dahingehend ungefährlich ist.

Während einzelner Teile der Untersuchung werden wir Sie bitten, die Gesichtsmuskulatur rhythmisch anzuspannen. Diese funktionellen Untersuchungen dauern etwa 30 Minuten und werden im Nachhinein im Hinblick auf Veränderungen der Muskulatur, des Nerven und der Durchblutung ausgewertet. Während der ganzen Untersuchung ist ein fachkundiger Arzt in der Klinik anwesend.

Um die Daten sinnvoll auswerten zu können, ist zusätzlich zu den Sonographie-Untersuchungen die Erfassung von Daten wie Name, Geburtsdatum, Krankengeschichte und Händigkeit notwendig. Vor der Auswertung werden diese Daten pseudoanonymisiert. Im Falle einer Veröffentlichung der Studienergebnisse bleibt die Vertraulichkeit Ihrer persönlichen Daten ebenfalls unter Beachtung des Thüringer Daten-Schutzgesetzes gewährleistet.

Wir machen Sie darauf aufmerksam, dass bei ca. 3 Prozent aller gesunden Menschen Normvarianten der Anatomie bestehen, die in der Regel ohne Krankheitswert sind. In seltenen Fällen können aber auch einmal behandlungsbedürftige Zufallsbefunde entdeckt werden. Falls sich bei Ihnen Anhaltspunkte für krankhafte Veränderungen im untersuchten Gebiet ergeben, würden wir Ihre Daten einem Facharzt vorlegen. Sollte es sich um eine behandlungsbedürftige Veränderung handeln, würden wir Ihnen eine weitere diagnostische Abklärung empfehlen. Bitte beachten Sie, dass die Datenauswertung im Rahmen dieser wissenschaftlichen Untersuchung nicht durch einen Facharzt erfolgt und die Auswertung der Daten mögliche Befunde nicht unbedingt erkennen lässt. Bitte beachten Sie auch, dass ein behandlungsbedürftiger Befund ggf. den Neuabschluss einer Versicherung (z.B. einer Lebensversicherung oder einer privaten Krankenversicherung) beeinflussen könnte.

Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Es entstehen Ihnen keine Nachteile, wenn Sie nicht an der Untersuchung teilnehmen. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile für die weitere Behandlung von der Studie zurücktreten.

Ich erkläre mich bereit, eine Sonographie des Kopfes und der mimischen Muskulatur im Rahmen der oben genannten klinischen Studie bei mir durchführen zu lassen. Zusätzlich bin ich mit der Erfassung von klinischen Daten und der Dokumentation von Körpereigenschaften wie Größe und Händigkeit einverstanden.

Ich bin von Herrn/Frau ausführlich und verständlich über die mit der Studie verbundenen Untersuchungen, mögliche Belastungen und Risiken aufgeklärt worden. Das Wesen, Bedeutung und Tragweite der klinischen Prüfung sowie die sich für mich daraus ergebenden Anforderungen sind mir verständlich gemacht worden. Aufgetretene Fragen wurden mir vom Prüfer verständlich und genügend beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile für meine weitere Behandlung entstehen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, dass meine im Rahmen dieser klinischen Prüfung ermittelten Daten aufgezeichnet werden. Um die Richtigkeit der Datenaufzeichnung zu überprüfen, dürfen Beauftragte des Studienleiter und der zuständigen Behörden beim Prüfarzt Einblick in meine personenbezogenen Krankheitsdaten nehmen.

Beim Umgang mit den Daten werden die Bestimmungen des Datenschutzgesetzes beachtet.

DATENSCHUTZ:

Ihre Daten werden im Rahmen einer klinischen Prüfung aufgezeichnet. Sie können pseudonymisiert zur Überprüfung an den Studienleiter weitergegeben werden. Die Pseudonymisierung der Daten wird numerisch vorgenommen. Dazu werden die im Rahmen dieser klinischen Prüfung erhobenen Daten und Angaben über Geschlecht, Alter, Körpereigenschaften und Gesundheit auf Fragebögen und elektronischen Datenträgern aufgezeichnet und ohne Namensnennung (pseudonymisiert) gespeichert/aufbewahrt. Zur Pseudonymisierung werden beim Studieneintritt von jedem Teilnehmer die Initialen des Vor- und Nachnamens notiert, dem Teilnehmer wird eine fortlaufende Nummer zugeordnet (001... 200).

Es kann nicht in jedem Fall ausgeschlossen werden, dass einzelne Befunde unter Umständen trotzdem einen Rückschluss auf die Identität erlauben.

Im Fall der Veröffentlichung der Studienergebnisse bleibt die Vertraulichkeit der persönlichen Daten der Teilnehmer gewährleistet. Die Beachtung des Datenschutzgesetzes bleibt in vollem Umfang sichergestellt.

Sie haben stets Gelegenheit zu weiterem Beratungsgespräch mit uns:

Univ.-Prof. Dr. med. Orlando Guntinas-Lichius
Dr. med. Gerd Fabian Volk
Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde des Universitätsklinikum Jena
Lessingstr. 2; 07743 Jena
Tel: 03641-9-394005; Fax: 03641-9-35129
e-mail: fabian.volk@med.uni-jena.de

Ein Exemplar der Teilnehmerinformation habe ich erhalten. Ein Exemplar verbleibt im Prüfbüro

Name des Teilnehmers in Druckbuchstaben:

Geburtsdatum:

Teilnehmer-Nr.:

Datum und Unterschrift des Teilnehmers:

Datum und Unterschrift (Arzt):

Anleitung zur Sonographie der mimischen Muskulatur

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	2
2. Allgemeine Hinweise zu Durchführung der Untersuchung	2
3. Position des Markers am Schallkopf	3
4. Position und Haltung des Schallkopfes	4
5. Anatomie der mimischen Muskulatur	4
6. Anatomie der Kaumuskulatur	7
7. Sonographische Darstellung der mimischen Muskulatur	8
7.1 Venter frontalis, M. occipitofrontalis	8
7.2 M. corrugator supercilii	9
7.3 M. procerus	10
7.4 M. orbicularis oculi	11
7.5 M. nasalis	12
7.6 Mm. mentales	13
7.7 M. orbicularis oris	14
7.8 M. depressor anguli oris / M. depressor labii inferioris	15
7.9 M. risorius	16
7.10 M. zygomaticus major	17
7.11 M. zygomaticus minor	18
7.12 M. levator labii superioris	19
7.13 M. levator labii superioris alaeque nasi	20
7.14 M. buccinator	21
8. Sonographie Schnitte der Kaumuskulatur	22
8.1 M. temporalis	22
8.2 M. masseter	23
9. Powerdoppler – Sonographie der Gesichtsarterien	24
9.1 A. facialis	24
9.2 A. temporalis profunda anterior	25
9.3 A. labialis superior	26

1. Einleitung

Die vorliegende Anleitung zur Sonographie der mimischen Muskulatur soll dem interessierten Sonographie-Anwender dabei helfen, die zum Teil äußerst komplexen sonographischen Schnittbilder der mimischen- und Kaumusculatur besser nachvollziehen und selbst reproduzieren zu können. Aufgrund der besonderen Anatomie der mimischen Muskulatur ist es zunächst nicht immer einfach einzelne mimische Muskeln klar gegen das umgebende Fett- und Bindegewebe abzugrenzen. Um diesem Problem entgegenzuwirken werden im Folgenden alle sonographischen Bilder von einer entsprechenden Schemazeichnung begleitet. Um die dynamischen Veränderungen der verschiedenen Muskeln bei Bewegung zu verdeutlichen wird jeweils ein sonographisches Bild in Relaxation sowie bei maximaler willkürlicher Kontraktion dargestellt. Unter den entsprechenden Bildern werden die mit Zahlen markierten anatomischen Strukturen benannt und erläutert. Um die Orientierung zu erleichtern und den Atlas insgesamt übersichtlich zu gestalten wurden ausnahmslos Bilder von der rechten Gesichtshälfte verwendet. Außerdem wurde mit sog. Markern gearbeitet. Ihre Funktion und Bedeutung wird im Punkt drei ausführlich illustriert.

2. Allgemeine Hinweise zu Durchführung der Untersuchung

Es sollte stets ausreichend Ultraschallgel verwendet werden. Hierdurch wird eine optimale Ankopplung an die Haut erreicht sowie eine Kompression der oberflächlichen Muskeln und Gefäße verhindert. Die Verwendung von Vorlaufstreifen hat sich in der Praxis als ungeeignet erwiesen. Vorlaufstreifen sind für den Untersuchenden oft hinderlich und werden vom zu Untersuchenden als unangenehm empfunden. Auch die Bildqualität kann nur unwesentlich verbessert werden.

Sollen die dynamischen Eigenschaften der Muskeln beurteilt werden, hat es sich als sehr hilfreich erwiesen die entsprechenden Bewegungen im Vorfeld der Untersuchung zu üben. Die Bewegungen sollten vom Untersuchenden ausführlich erläutert und demonstriert werden. Da es vielen Menschen sehr schwer fällt mimische Bewegungen bewusst auszuführen, wird die Verwendung eines Spiegels in der Übungsphase sowie ggf. auch während der Untersuchung empfohlen.

Kontraktionen der entsprechenden Zielmuskeln können dem Untersuchenden außerdem die eindeutige Identifikation der einzelnen Muskeln erleichtern. Da bei älteren und/oder adipösen Menschen die mimischen Muskeln oft von Binde- und Fettgewebe durchzogen sind und sich daher echoreich darstellen, ist die Identifikation durch Kontraktion hier besonders angezeigt. Dabei sollte immer darauf geachtet werden, dass der zu Untersuchende wirklich die geforderte Bewegung ausführt.

Soll die Perfusion bestimmt werden, sollte dies stets vor der Kontraktion erfolgen. So können Veränderungen des Blutflusses durch Gefäßkompression oder vasoaktive Mediatoren minimiert werden.

3. Position des Markers am Schallkopf

Um die Position des Schallkopfes besser nachvollziehbar zu machen wurde mit sog. Markern gearbeitet. Am L 15-7io „Hockey Stick“-Linearschallkopf befindet sich der Marker am vorderen Ende des Schallkopfes. Um die Position des Schallkopfes auch in den verschiedenen Abbildungen zu verdeutlichen wurde für den L 15-7io „Hockey Stick“-Linearschallkopf ein grüner Schemaschallkopf mit rotem Kopf verwendet. Der rote Kopf entspricht der Markerposition am Schallkopf, der grüne Anteil entspricht der Auflagefläche des Schallkopfes. Am L 12-3 Linearschallkopf wird der Marker durch eine braune Linie an einer Seite des Schallkopfes repräsentiert. Der entsprechende Schemaschallkopf ist blau mit gelbem Kopf. Hier entspricht der gelbe Kopf der Markerposition am Schallkopf, der blaue Anteil repräsentiert die Auflagefläche des Schallkopfes. Durch die Verwendung der Marker kann sich der Untersucher jederzeit problemlos orientieren. Wird der Schallkopf beispielsweise nach rechts ausgerichtet, befinden sich die entsprechenden Strukturen auch rechts im Ultraschallbild.

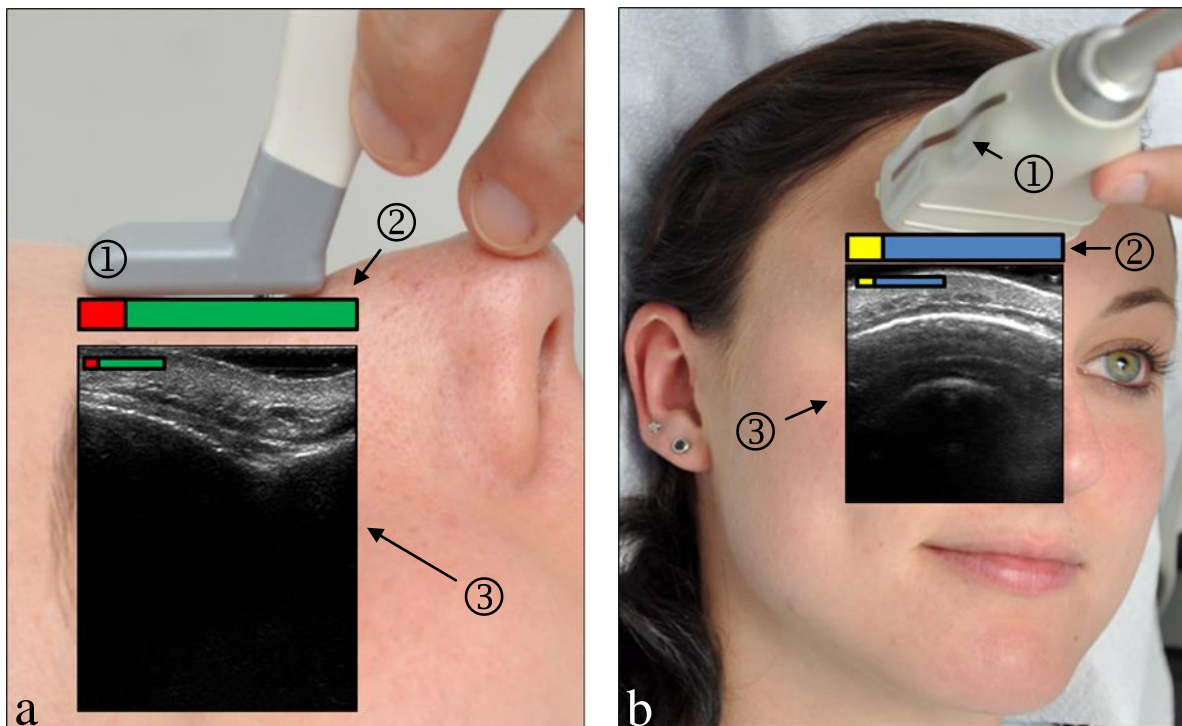


Abb. 1 Erläuterung der Marker

a) Schallkopfposition zur Darstellung des M. procerus **1** Position des Markers am L 15-7io „Hockey Stick“-Linearschallkopf. **2** Schemaschallkopf grün mit rotem Kopf. Der rote Kopf entspricht dem Marker am Schallkopf. **3** Ultraschallbild des M. procerus mit integriertem Schemaschallkopf oben links im Bild.

b) Schallkopfposition zur Darstellung des M. frontalis **1** L 12-3 Linearschallkopf mit Markerlinie **2** Schemaschallkopf blau mit gelbem Kopf. Der gelbe Kopf repräsentiert die Markerlinie am Schallkopf. **3** Ultraschallbild des M. frontalis rechts mit integriertem Schemaschallkopf links oben im Bild.

4. Position und Haltung des Schallkopfes

Es ist darauf zu achten, dass der Schallkopf immer senkrecht zur Hautoberfläche aufgesetzt wird. Andernfalls wird der jeweilige Muskel schräg angeschnitten und die entsprechenden Messwerte wären nicht verwertbar. Eine Ausnahme von der oben beschriebenen Schallkopfhaltung stellt allerdings die Darstellung der Gefäße dar. Aufgrund der mitunter variablen Gefäßverläufe kann es hier notwendig werden den Schallkopf ausgehend von der jeweiligen Grundposition leicht durch den Gefäßanschnitt zu schwenken, das heißt den Schallkopfwinkel zur Hautoberfläche zu verändern. Auf diese Weise ist es möglich einen geraden axialen Gefäßanschnitt längs des Gefäßverlaufes darzustellen.

5. Anatomie der mimischen Muskulatur

Tab. 1 Anatomie der mimischen Muskulatur (nach Zilles et al. 2010)

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
Muskeln des Schädeldaches			
M. epicranii			
M. occipitofrontalis <ul style="list-style-type: none"> Venter frontalis Venter occipitalis (M. occipitalis) 	Ursprung über den Sehnen benachbarter Muskeln im Bereich der pars nasalis des Os frontale Ansatz Galea aponeurotica Ursprung Linea nuchalis suprema Ansatz Galea aponeurotica	Innervation <ul style="list-style-type: none"> Rr. temporalis des N. facialis Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> A. supraorbitalis A. supratrochlearis A. lacrimalis R. frontalis der A. temporalis superficialis Innervation <ul style="list-style-type: none"> R. occipitalis des N. auricularis posterior des N. facialis Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> A. occipitalis 	Verschieben der Kopfhaut Anheben der Augenbrauen und der Stirnhaut
M. temporoparietalis	Ursprung Fascia temporalis Ansatz Galea aponeurotica	Innervation <ul style="list-style-type: none"> Rr. temporalis des N. facialis Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> A. temporalis superficialis 	keine nennenswerte Funktion
Muskeln im Bereich der Augenhöhle und der Lidspalte			
M. orbicularis oculi <ul style="list-style-type: none"> Pars orbitalis Pars palpebralis Pars lacrimalis (Horner-Muskel) 	Ursprung Crista lacrimalis und Proc. frontalis der Maxilla Ansatz über der Raphe palpebralis lateralis am Os zygomaticum Ursprung Lig. palpebrale mediale Ansatz Lig. palpebrale laterale Ursprung Crista lacrimalis des Os lacrimale Ansatz Canaliculi lacrimales in die Pars palpebralis	Innervation <ul style="list-style-type: none"> Rr. temporalis Rr. zygomatici des N. facialis Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> A. facialis R. frontalis der A. temporalis superficialis A. infraorbitalis der A. maxillaris A. supraorbitalis, A. lacrimalis und A. supratrochlearis der A. ophthalmica 	Fester Schluss der Lidspalte Verschluss der Lidspalte, Beteiligung am Lidschlag und Stabilisierung des Unterlides zur Bildung des Tränensees, Förderung des Tränenflusses, Abfluss der Tränenflüssigkeit
M. corrugator supercilii	Ursprung Os frontale oberhalb der Sutura frontomaxillaris, Glabella, Arcus superciliaris Ansatz Haut oberhalb des mittleren Drittels der Augenbraue, Galea aponeurotica	Innervation <ul style="list-style-type: none"> Rr. temporalis des N. facialis Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> A. supraorbitalis und A. supratrochlearis der A. ophthalmica R. frontalis der A. temporalis superficialis 	Verschieben der Augenbrauenhaut nach unten medial
M. depressor supercilii	Ursprung Os frontale Ansatz medialer Teil der Augenbraue	Innervation <ul style="list-style-type: none"> R. temporalis des N. facialis Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> Aa. supratrochlearis und supraorbitalis der A. ophthalmica 	Verschiebung der Haut über der Nasenwurzel zu einer queren Falte

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
Muskeln im Bereich der Nase			
M. procerus	Ursprung Os nasale, Cartilago nasi lateralis Ansatz Haut der Glabella	Innervation ▪ R. zygomaticus des N. facialis Blutversorgung ▪ A. dorsalis nasi, A. supratrochlearis und Äste der A. ethmoidalis anterior der A. ophthalmica	Verschiebung der Haut über der Glabella nach unten und Bildung einer Querfalte über der Nasenwurzel
M. nasalis ▪ Pars transversa ▪ Pars alaris	Ursprung Jugum alveolare des Eckzahnes bis in die Fossa canina der Maxilla Ansatz Aponeurose über dem Nasenrücken Ursprung oberhalb des Jugum alveolare des seitlichen Schneidezahnes Ansatz Haut der Nasenöffnung und des Nasenseptums	Innervation ▪ Rr. zygomatici des N. facialis Blutversorgung ▪ angularis der A. facialis Innervation ▪ Rr. zygomatici des N. facialis Blutversorgung ▪ A. dorsalis nasi und Äste der A. ethmoidalis anterior der A. ophthalmica	Ziehen den Nasenflügel und die Nasenspitze nach unten, leichte Erweiterung des Nasenloches, Vertiefung des Nasenflügelruche
M. depressor septi nasi	Ursprung oberhalb des Proc. alveolaris des ersten Schneidezahnes Ansatz knorpeliger Teil des Nasenseptums	Innervation ▪ Rr. zygomatici und buccales des N. facialis Blutversorgung ▪ A. labialis superior der A. facialis	Herabziehen der Nasenspitze und Erweiterung der Nasenlöcher
M. levator labii superioris alaeque nasi	Ursprung Proc. frontalis des Maxilla, Margo infraorbitalis Ansatz Oberlippe, Haut der Nasenflügel	Innervation ▪ Rr. zygomatici des N. facialis Blutversorgung ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ A. labialis superior und Äste der A. angularis der A. facialis	Anheben von Nasenflügel und Oberlippe, Erweiterung der Nasenöffnung
Muskeln im Bereich des Mundes			
M. orbicularis oris M. buccinator	Ursprung Jugum alveolare des oberen und des unteren Eckzahnes Ansatz Haut der Ober- und Unterlippe Ursprung Proc. alveolaris maxillae im Bereich der Molaren, Crista buccinatoria im Bereich der Unterkiefermolaren Ansatz Modiolus anguli oris, über dem M. orbicularis oris in der Ober- und Unterlippe	Innervation ▪ Rr. zygomatici des N. facialis im Bereich der Oberlippe ▪ Rr. buccales des N. facialis im Bereich des Mundwinkels ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis im Bereich der Unterlippe Blutversorgung ▪ Aa. labiales superior und inferior der A. facialis Innervation ▪ Rr. buccales des N. facialis Blutversorgung ▪ Äste der A. facialis und der A. temporalis superficialis ▪ A. buccalis und A. alveolaris superior posterior der A. maxillaris	Gesamter Muskel: Verengen und Schließen der Mundöffnung, Erzeugen der Lippenspannung Alleinige Kontraktion der Pars marginalis: Einziehen des Lippenrotanteils nach innen Alleinige Kontraktion des Pars labialis: Vorwölben der Lippen Beteiligung am Kauakt, indem er die Speise aus dem Mundvorhof zwischen die Zahnreihen und in die Mundhöhle schiebt. Erzeugung der Wangen- und Lippenspannung.
M. zygomaticus major	Ursprung Os zygomaticum vor der Sutura zygomaticotemporalis Ansatz Haut des Mundwinkels und der Oberlippe	Innervation ▪ Rr. zygomatici des N. facialis Blutversorgung ▪ A. zygomaticoorbitalis der A. temporalis superficialis ▪ Äste der A. facialis	Anheben des Mundwinkels nach außen-oben, Vertiefung der Nasolabialfurche und der Lidfurche
M. zygomaticus minor	Ursprung Os zygomaticum medial vom M. zygomaticus major Ansatz Haut des Sulcus nasolabialis	Innervation ▪ Rr. zygomatici des N. facialis Blutversorgung ▪ A. zygomaticoorbitalis der A. temporalis superficialis ▪ Äste der A. facialis	Anheben des Mundwinkels nach außen-oben
M. risorius	Ursprung Facies masseterica Ansatz Haut der Oberlippe, Schleimhaut des Vestibulum oris, Modiolus anguli oris	Innervation ▪ Rr. buccales des N. facialis Blutversorgung ▪ Äste der A. facialis	Zug des Mundwinkels nach lateral, Vertiefung der Nasolabialfurche, Erzeugung des Wangenrübchens
M. levator labii superioris	Ursprung Margo infraorbitalis der Maxilla oberhalb des Foramen infraorbitale Ansatz Haut der Oberlippe und des Nasenflügels, M. orbicularis oris	Innervation ▪ Rr. zygomatici des N. facialis Blutversorgung ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ A. labialis superior und Äste der A. angularis der A. facialis	Anheben der Oberlippe, Erzeugung einer Falte oberhalb und seitlich der Nasenflügel

Muskel	Ursprung/Ansatz	Innervation/Blutversorgung	Funktion
M. levator anguli oris (M. caninus)	Ursprung Fossa canina unterhalb des Foramen infraorbitale Ansatz Haut und Schleimhaut des Mundwinkelbereiches, Modiolus anguli oris, M. orbicularis oris	Innervation ▪ Rr. zygomatici des N. facialis Blutversorgung ▪ A. infraorbitalis der A. maxillaris ▪ Äste der A. angularis und A. labialis superior der A. facialis	Anheben des Mundwinkels nach kranial-medial
M. depressor anguli oris (M. triangularis)	Ursprung Basis mandibulae vom Tuberculum mentale bis zum Jugum alveolare des ersten Molaren Ansatz Haut des Mundwinkels, Modiolus anguli oris	Innervation ▪ Rr. buccales des N. facialis ▪ variabel: R. marginalis mandibulae Blutversorgung ▪ Äste der A. facialis ▪ A. labialis inferior der A. facialis	Zug des Mundwinkels nach unten
M. depressor labii inferioris (M. quadratus inferioris)	Ursprung Basis mandibulae unterhalb des Foramen mentale (Verbindung zum Platysma) Ansatz Haut und Schleimhaut der Unterlippe, Haut des Kinnwulstes, M. orbicularis oris	Innervation ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis Blutversorgung ▪ A. labialis inferior der A. facialis	Zug der Unterlippe nach unten-lateral, Vorwölbung des Lippenrotes
M. mentalis	Ursprung Jugum alveolare des seitlichen Schneidezahnes der Mandibula Ansatz Haut des Kinns	Innervation ▪ R. marginalis mandibulae des N. facialis Blutversorgung ▪ A. labialis inferior der A. facialis	Verschieben der Haut des Kinns nach oben
Muskeln im Bereich des äußeren Ohres			
M. auricularis anterior	Ursprung Fascia temporalis, Galea aponeurotica Ansatz Spina helices der Ohrmuschel	Innervation ▪ Rr. temporales des N. facialis Blutversorgung ▪ temporalis superficialis	geringgradiger Zug der Ohrmuschel nach vorn
M. auricularis superior	Ursprung Galea aponeurotica Ansatz Hinterfläche der Ohrmuschel im Bereich der Eminentia scaphae und der Eminentia fossae triangularis, Spina helices	Innervation ▪ Rr. temporales und R. auricularis des N. auricularis posterior des N. facialis Blutversorgung ▪ A. temporalis superficialis ▪ A. auricularis posterior	geringgradiger Zug der Ohrmuschel nach oben
M. auricularis posterior	Ursprung Proc. mastoideus, Linea nuchalis superior Ansatz Eminentia conchae der Ohrmuschel	Innervation ▪ R. auricularis des N. auricularis posterior des N. facialis Blutversorgung ▪ A. auricularis posterior ▪ R. auricularis der A. occipitalis	geringgradiger Zug der Ohrmuschel nach hinten
Muskeln des Halses			
Platysma	Ursprung Basis mandibulae Ansatz Haut der oberen Brustregion	Innervation ▪ R. colli des N. facialis Blutversorgung ▪ R. superficialis der A. transversa colli ▪ A. submentalialis der A. facialis	Gesichtsteil: Herabziehen der Mundwinkel nach lateral Halsteil: Verschieben der Haut zur Mandibula Spannen von Haut und Unterhautgewebe

6. Anatomie der Kaumuskulatur

Muskel	Ursprung / Ansatz	Innervation / Blutversorgung	Funktion
M. masseter	Ursprung Pars profunda: Facies temporalis und Innenseite des Proc. temporalis des Os zygomaticum Pars superficialis: Facies lateralis und Proc. temporalis des Os zygomaticum Ansatz Pars profunda: Ramus mandibulae bis zur Basis des Proc. coronoideus und des Proc. condylaris Pars superficialis: Tuberositas masseterica an der Außenfläche des Angulus mandibulae	Innervation <ul style="list-style-type: none"> N. massetericus des N. mandibularis aus dem N. trigeminus Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> A. masseterica der A. maxillaris A. facialis A. transversa faciei der A. temporalis superficialis A. buccales der A. maxillaris 	Kräftiges Heben (Adduktion) des Unterkiefers, Unterstützung der Protrusion des Unterkiefers
M. temporalis	Ursprung Linea temporalis inferior der Facies externa des Os parietale und der Facies temporalis des Os frontale, Pars squamosa des Os temporale, Pars temporalis des Os zygomaticum, Facies temporalis des Os sphenoidale bis zur Crista infratemporalis Ansatz Proc. coronoideus der Mandibula bis in das Trigonum retromolare	Innervation <ul style="list-style-type: none"> Nn. temporales profundi des N. mandibularis aus dem N. trigeminus Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> Aa. temporales profundae anterior und posterior der A. maxillaris A. temporalis media der A. temporalis superficialis 	beidseitig: kräftiges Heben (Adduktion) des Unterkiefers, Retrusion des Unterkiefers, Unterstützung der Protrusion (vorderer Anteil) einseitig: Stabilisierung des Caput mandibulae, Verlagerung des Caput mandibulae nach vorn und Drehung zur kontralateralen Seite
M. pterygoideus medialis	Ursprung Pars medialis: in der Fossa pterygoidea an der Facies medialis der Lamina lateralis proc. pterygoidei des Os sphenoidale Pars lateralis: Facies lateralis der Lamina lateralis processus pterygoidea des Os sphenoidale, Proc. pyramidalis ossis palatine, Tuber maxillae Ansatz Tuberositas pterygoidea an der Innenseite des Angulus mandibulae	Innervation <ul style="list-style-type: none"> N. pterygoideus medialis des N. mandibularis aus dem N. trigeminus Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> A. alveolaris superior A. alveolaris inferior A. buccalis der A. maxillaris 	beidseitig: Heben (Adduktion) und Protrusion des Unterkiefers einseitig: Mahlbewegung, Verlagerung des Caput mandibulae nach vorn und Drehung zur kontralateralen Seite
M. pterygoideus lateralis	Ursprung Caput superius: Facies temporalis und Crista infratemporalis des Ala major des Os sphenoidale Caput inferius: Facies lateralis der Lamina lateralis processus pterygoidea des Os sphenoidale Ansatz Caput superius: Fovea pterygoidea, Discus articularis Caput inferius: Fovea pterygoidea	Innervation <ul style="list-style-type: none"> N. pterygoideus lateralis des N. mandibularis aus dem N. trigeminus Blutversorgung <ul style="list-style-type: none"> R. pterygoideus der A. maxillaris 	Caput superius: beidseitig: Fixierung des Caput mandibulae einseitig: Mahlbewegung, Stabilisierung des ruhenden Caput mandibulae Caput inferius: beidseitig: Einleitung der Kieferöffnung einseitig: Mahlbewegung

7. Sonographische Darstellung der mimischen Muskulatur

7.1 Venter frontalis, M. occipitofrontalis

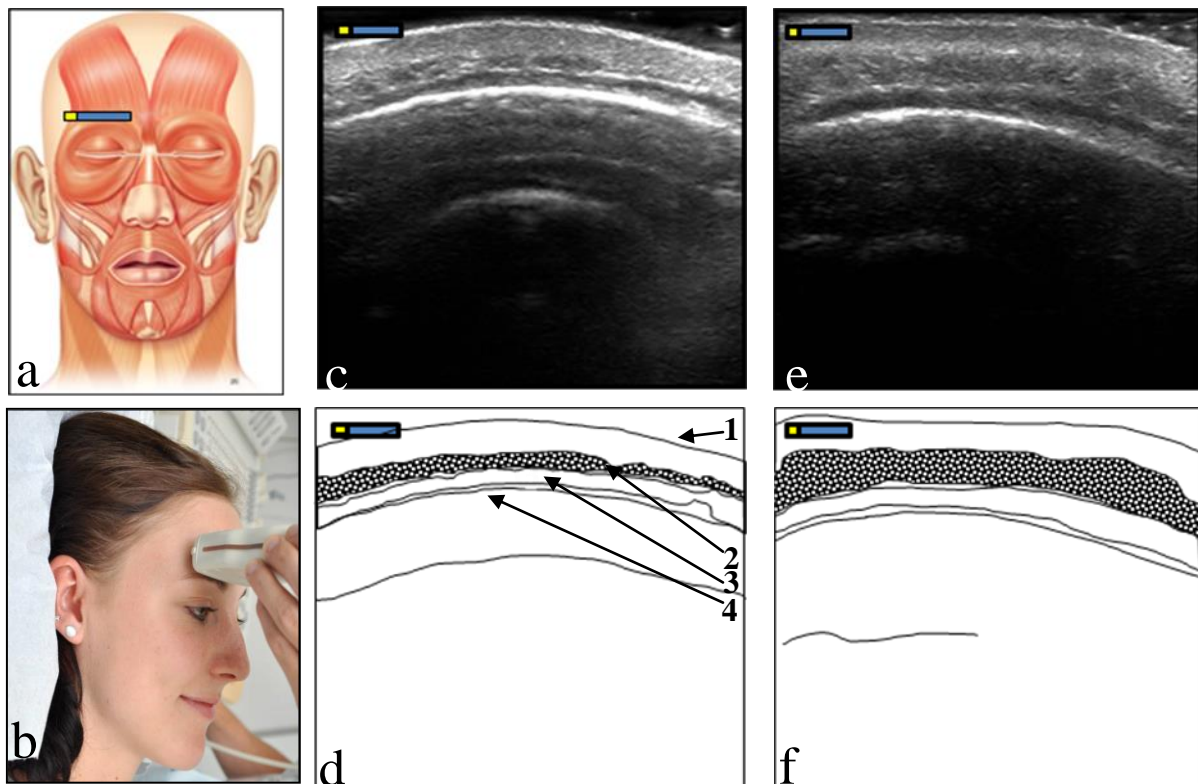


Abb. 2 a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem Venter frontalis, M. occipitofrontalis b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den Venter frontalis c sonographisches Bild des Venter frontalis in Ruhe d Schemabild des Venter frontalis in Ruhe 1 äußere Haut 2 Venter frontalis, M. occipitofrontalis rechts 3 subaponeurotischer Verschiebespalt 4 Os frontale e sonographisches Bild des Venter frontalis bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. frontalis bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird orthogonal mittig auf eine gedachte Linie, die axial durch die Pupille läuft nach kranial verschoben. 2cm oberhalb des knöchernen Orbitarandes wird der Schallkopf senkrecht auf die Hautoberfläche aufgesetzt. Da es starke interindividuelle Variationen in der Ausprägung und Form der Augenbrauen gibt, sollten diese hier nicht als Landmarken verwendet werden. Andernfalls kann es zu Überlagerungen des Venter frontalis durch Muskelfasern des M. orbicularis oculi oder M. corrugator supercilii kommen. Andererseits sollte auch beachtet werden, dass der Schallkopf nicht zu weit nach kranial verschoben wird. Hier verliert der Venter frontalis immer mehr an Dicke und der ist zunehmend bindegewebig durchsetzt

Leitstrukturen:

Der Venter frontalis des M. occipitofrontalis stellt sich echoarm unter der Subkutis dar. Unter dem Muskel folgt eine sonographisch nicht immer nachweisbare echoreiche, bindegewebige Grenzschicht. Tiefer folgt der sich echoarm darstellende subaponeurotische Verschiebespalt sowie das Periost des Os frontale. Den Abschluss bildete das kräftige Grenzecho des Os frontale.

Anweisung zur Kontraktion:

„Augenbrauen nach oben ziehen“

Bewegungsphänomene:

Während der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verdickung sowie zur Abnahme der Echogenität.

Hinweise:

Der Schallkopf soll möglichst ohne Druck aufgesetzt werden, da der Muskel andernfalls komprimiert und die Messwerte deutlich verfälscht werden könnten. Um die Kontur des Schädels zu auszugleichen sollte stets viel Gel aufgetragen werden. Gelegentlich treten deutliche Septierungen des Muskels auf. Hier kann die Aufforderung zur Kontraktion die Beurteilung des größten Durchmessers sehr erleichtern. Bei der Kontraktion ist außerdem zu beachten, dass sich das oben beschriebene Periost direkt oberhalb des Os frontale ebenfalls mit verdickt. Dies wird jedoch nicht durch Muskelfasern bedingt, sondern vielmehr durch eine Zugwirkung in Richtung Hautoberfläche durch den sich kontrahierenden Venter frontalis.

Fehlinterpretationen:

Bei falscher Schallkopflage kann es zu Überlagerungen durch Muskelfasern des M. corrugator supercilii oder des M. orbicularis oculi kommen

7.2 M. corrugator supercilii

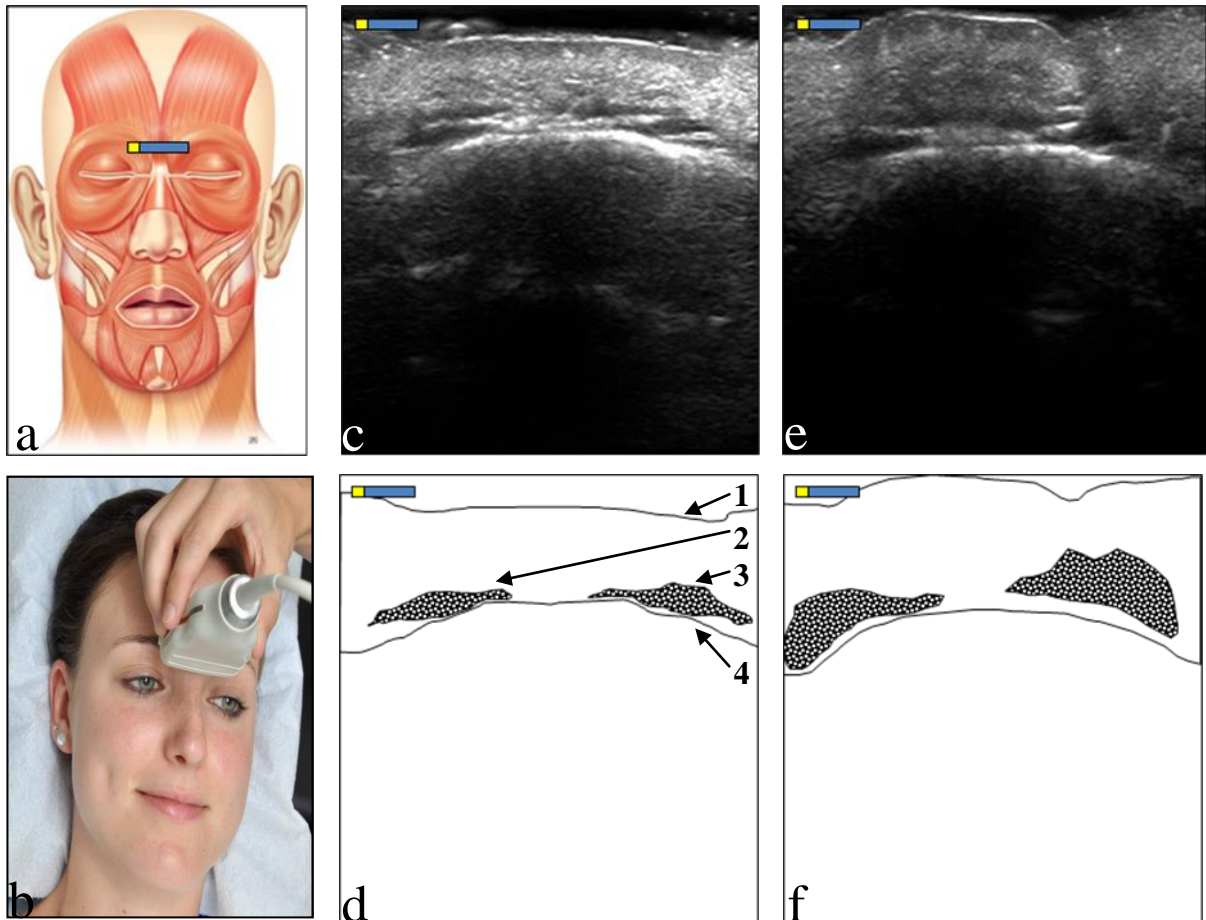


Abb. 3 a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem rechten und linken M. corrugator supercilii b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. corrugator supercilii c sonographisches Bild des rechten und linken M. corrugator supercilii in Ruhe d Schemabild des rechten und linken M. corrugator supercilii in Ruhe 1 äußere Haut 2 M. corrugator supercilii rechts 3 M. corrugator supercilii links 4 Os frontale e sonographisches Bild des rechten und linken M. corrugator supercilii bei maximaler Kontraktion f Schemabild des rechten und linken M. corrugator supercilii bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird ähnlich wie beim Aufsuchen des Venter frontalis des M. occipitofrontalis ausgehend von der horizontalen Pupillenebene in der Medianlinie bis auf Höhe der Augenbrauen parallelverschoben. Der Schallkopf wird nun sanft und im rechten Winkel zwischen den Augenbrauen aufgesetzt. Die Augenbrauen sollten auch hier nicht als Landmarke verwendet werden, sie dienen hier lediglich der groben Orientierung. Als knöcherne Landmarken dienen vielmehr die medialen Enden des Arcus superciliaris beider Seiten.

Leitstrukturen:

Die Muskeln stellen sich sonographisch als meist dreieckig und echoarm unterhalb einzelner Muskelfasern des M. depressor supercilii dar. Tiefer folgt das Grenzecho der Kalotte mit darunter liegendem Schallschatten. Sonographische Leitstrukturen sind die schon oben erwähnten medialen Enden der Arci superciliares beider Seiten.

Anweisung:

„Augenbrauen zusammen ziehen“ (wie beim böse gucken).

Bewegungsphänomene:

Während der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verdickung und Medialverlagerung der Muskeln sowie zur Abnahme der Echogenität. Weiterhin treten bei korrekter Bewegungsausführung senkrechte Hautfalten auf.

Hinweise:

Um die Konturen des Kopfes auszugleichen sollte stets viel Gel aufgetragen und weiterhin der Schallkopf möglichst ohne Druck aufgesetzt werden. Der M. corrugator supercilii ist nach oben hin durch einige echoreiche Bindegewebsfasern vom über ihm liegenden M. depressor supercilii abgegrenzt.

Fehlinterpretationen:

Der Muskel ist durch Kontraktion eindeutig zu identifizieren. Bei zu weit kranial aufgesetztem Schallkopf kann der Muskel durch Fasern des M. frontalis überlagert werden. Bei zu weit kaudal aufgesetzten Schallkopf erscheinen links und rechts des Nasenbeines die gut sichtbaren Querschnitte des M. levator labii superioris alaeque nasi.

7.3 M. procerus

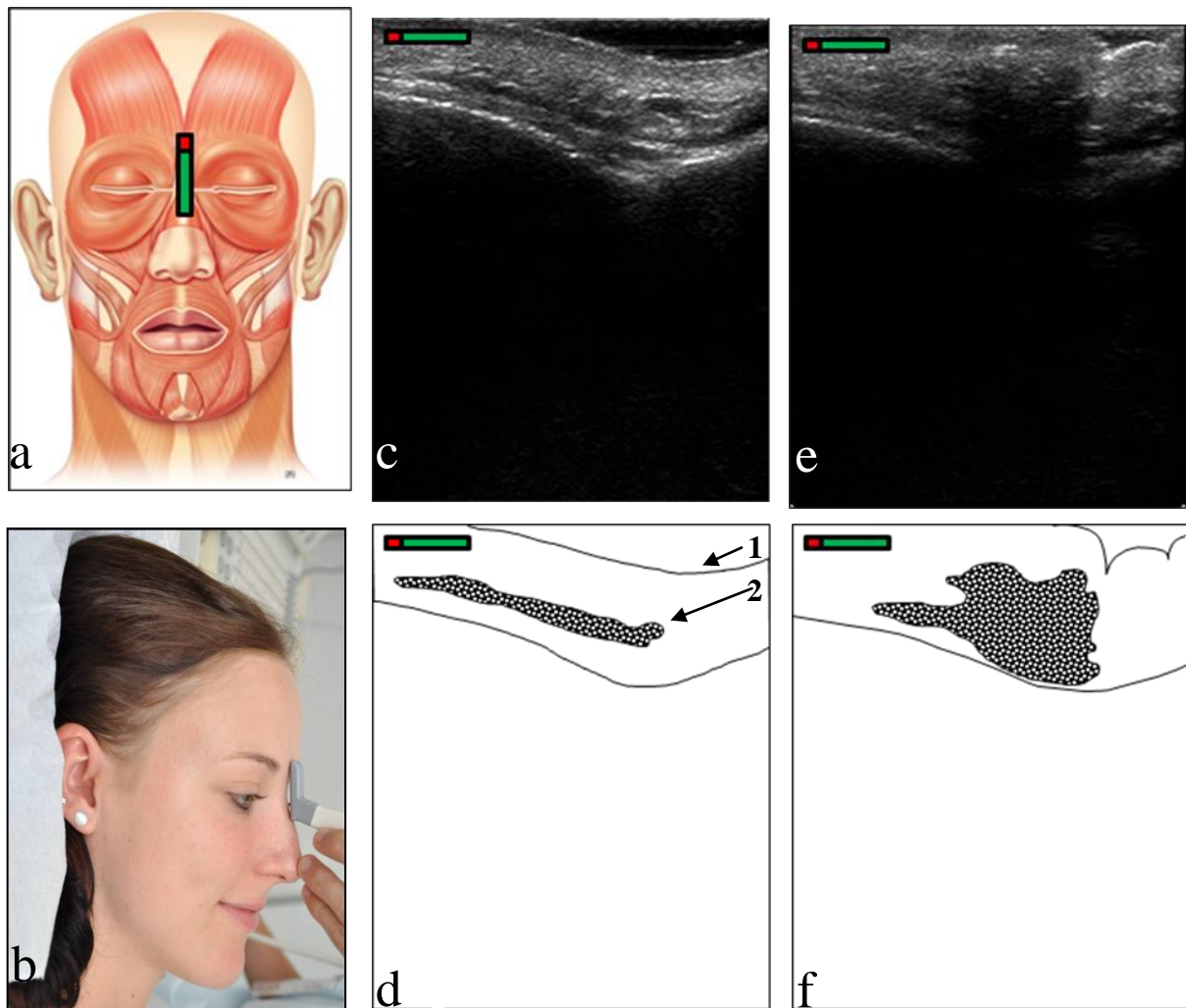


Abb. 4 **a** Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. procerus **b** Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. procerus **c** sonographisches Bild des M. procerus in Ruhe **d** Schemabild des M. procerus in Ruhe **1** äußere Haut **2** M. procerus **3** Grenzecho des Os frontale und Os nasale **e** sonographisches Bild des M. procerus bei maximaler Kontraktion **f** Schemabild des M. procerus bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird in der Medianebene im Übergangsbereich zwischen Os frontale und Os nasale senkrecht zur Hautoberfläche aufgesetzt.

Leitstrukturen:

Als Leitstrukturen dienen der Nasenrücken, das Os frontale sowie die konkave Wölbung zwischen diesen beiden knöchernen Strukturen.

Anweisung:

„Naserümpfen“

Bewegungsphänomene:

Während der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verdickung und Zunahme der Echogenität des Muskels. Auf Hautniveau werden meist deutliche Querfalten aufgeworfen.

Hinweise:

Um die konkave Wölbung im Übergangsbereich zwischen Os frontale und Os nasale auszufüllen, sollte viel Gel verwendet werden. Weiterhin ist darauf zu achten, dass der Schallkopf exakt in der Medianebene gehalten wird. Andernfalls kann es zu Überlagerungen mit Fasern anderer topographisch nahe liegender Muskeln kommen. Der Muskelquerschnitt des

Fehlinterpretationen:

Wird der Schallkopf nicht exakt in der Medianebene aufgesetzt, kann es je nach Grad der Abweichung zu Überlagerungen mit Muskelfasern des M. orbicularis oculi, M. depressor supercilii, M. corrugator supercilii kommen.

7.4 M. orbicularis oculi

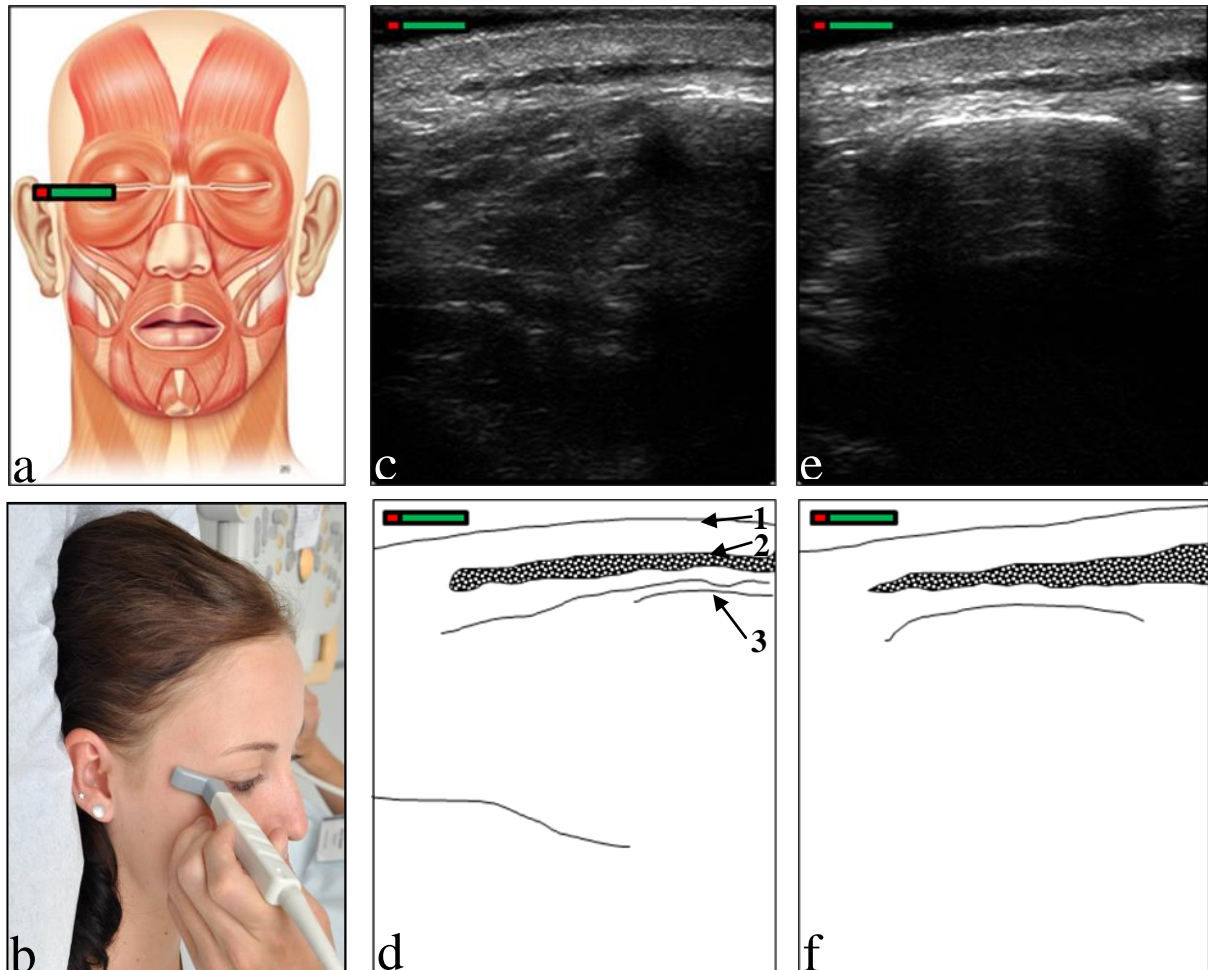


Abb. 5 a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über der Pars orbitalis des M. orbicularis oculi b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. orbicularis oculi c sonographisches Bild des M. orbicularis oculi in Ruhe d Schemabild des M. orbicularis oculi in Ruhe 1 Hautoberfläche 2 Anschnitt des M. orbicularis oculi 3 Grenzecho der Orbita e sonographisches Bild des M. orbicularis oculi bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. orbicularis oculi bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird in der Pupillenebene senkrecht auf die Haut oberhalb des Proc. frontalis, Os zygomaticum aufgesetzt. Es ist darauf zu achten, dass der Schallkopfswinkel so gewählt wird, dass die Ultraschallwellen nie direkt auf den Bulbus treffen.

Leitstrukturen:

Kräftiges Grenzecho des Margo lateralis der Orbita mit nachfolgendem Schallschatten. Der feine M. orbicularis oculi stellt sich als schmaler echoarmer Streifen dar und verläuft von lateral kommend über den Orbitarand.

Anweisung:

„Augen fest zukneifen“.

Bewegungsphänomene:

Der M. orbicularis oculi zieht bei Kontraktion direkt über den deutlich sichtbaren echoreichen Orbitarand. Die stärkste Verdickung des Muskels liegt meist direkt über dem lateralen Orbitarand.

Hinweise:

Durch zu kräftiges Aufsetzen des Schallkopfes wird der zarte Muskel stark komprimiert, wodurch die Messergebnisse entsprechend stark verfälscht werden. Daher sollte auch hier stets viel Gel verwendet werden. Weiterhin die um mechanische Schäden der Retina durch die Ultraschalleinwirkung zu vermeiden der Bulbus selbst nicht geschallt werden.

Fehlinterpretationen:

Durch die Wahl der Schallebenen ist der Muskel leicht als solcher zu identifizieren. In Extremfällen, etwa bei Menschen mit sehr hohem BMI oder Patienten mit chronischer Fazialisparese, kann jedoch die Identifikation auch erschwert sein. In diesen Fällen hat sich die Aufforderung zur Kontraktion oder leichtes hin und her Schwenken des Schallkopfes als hilfreich erwiesen. So können die echoreichen Grenzen des Muskels gut dargestellt und der Muskel eindeutig identifiziert werden.

7.5 M. nasalis

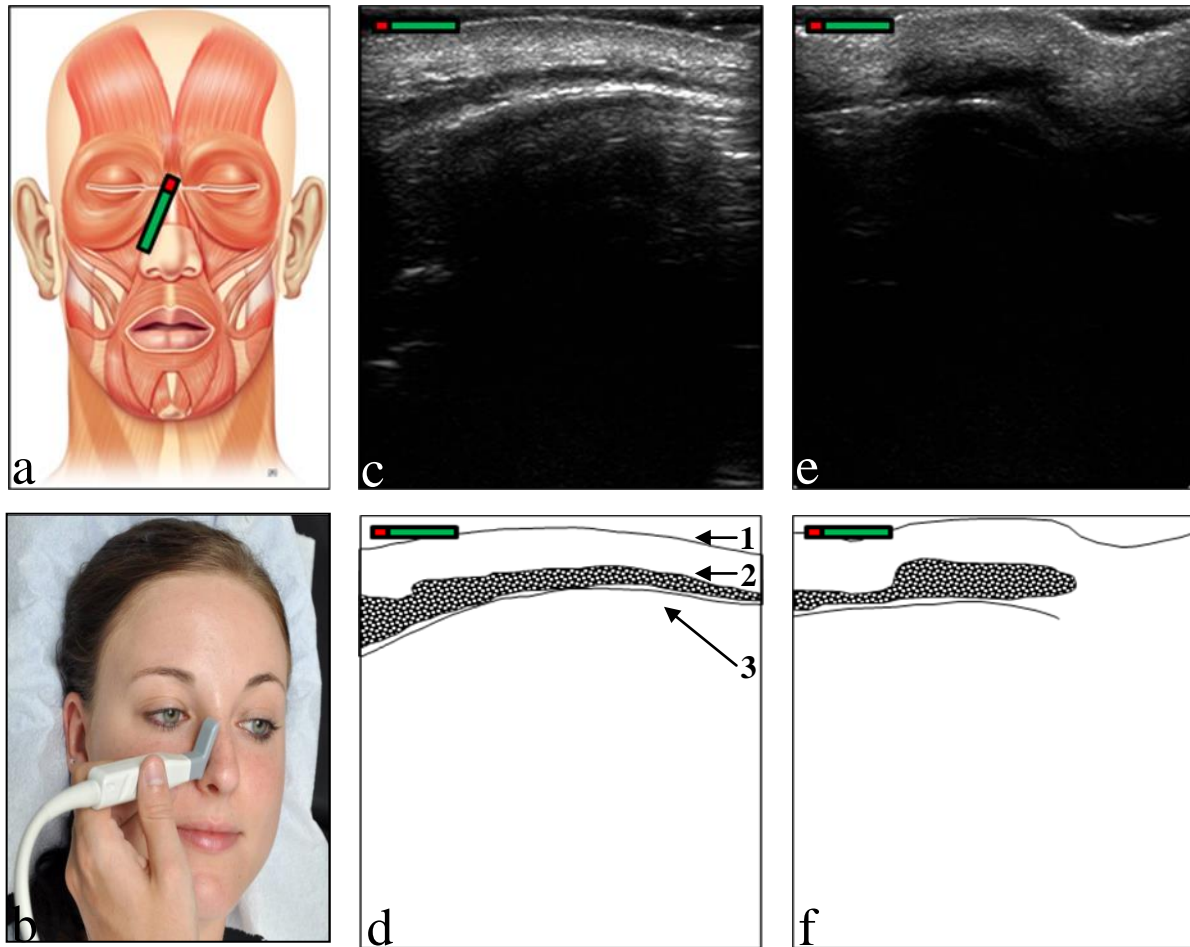


Abb. 6 **a** Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über der Pars transversa des M. nasalis **b** Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch die Pars transversa des M. nasalis **c** sonographisches Bild des M. nasalis in Ruhe **d** Schemabild des M. nasalis in Ruhe **1** Hautoberfläche **2** Pars transversa des M. nasalis **3** Grenzecho des Os nasale sowie der Cartilagine alares minores **e** sonographisches Bild des M. nasalis bei maximaler Kontraktion **f** Schemabild des M. nasalis bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes:

Die Schallebene liegt entlang dem Os nasale und Proc. frontalis maxillae zwischen einem medialen Punkt am oberen, distalen Ende des Os nasale und der Ala nasi der entsprechenden Seite.

Leitstrukturen:

Als sonographische Leitstrukturen dienen das obere, distale Ende des Os nasale sowie die Cartilagine alares minores der entsprechenden Seite. Der M. nasalis stellt sich echoarm und deutlich sichtbar in der Subcutis dar. Tiefer folgt das Grenzecho der verschiedenen knöchernen und knorpeligen Strukturen der Nase.

Anweisung:

„Naserümpfen“

Bewegungsphänomene:

Während der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verdickung sowie Verkürzung des Muskels. Außerdem werfen sich unter der Kontraktion gut sichtbare Hautfalten auf.

Hinweise:

Um eine Kompression des Muskels zu vermeiden und um die Konturen der Nase auszugleichen sollte stets genügend Gel verwendet werden. Durch Kontraktion kann der Muskel zweifelsfrei identifiziert werden.

Fehlinterpretationen:

Bei zu lateraler Schallkopflege kann es zu Verwechslungen mit dem M. levator labii superioris alaeque nasi kommen.

7.6 Mm. mentales

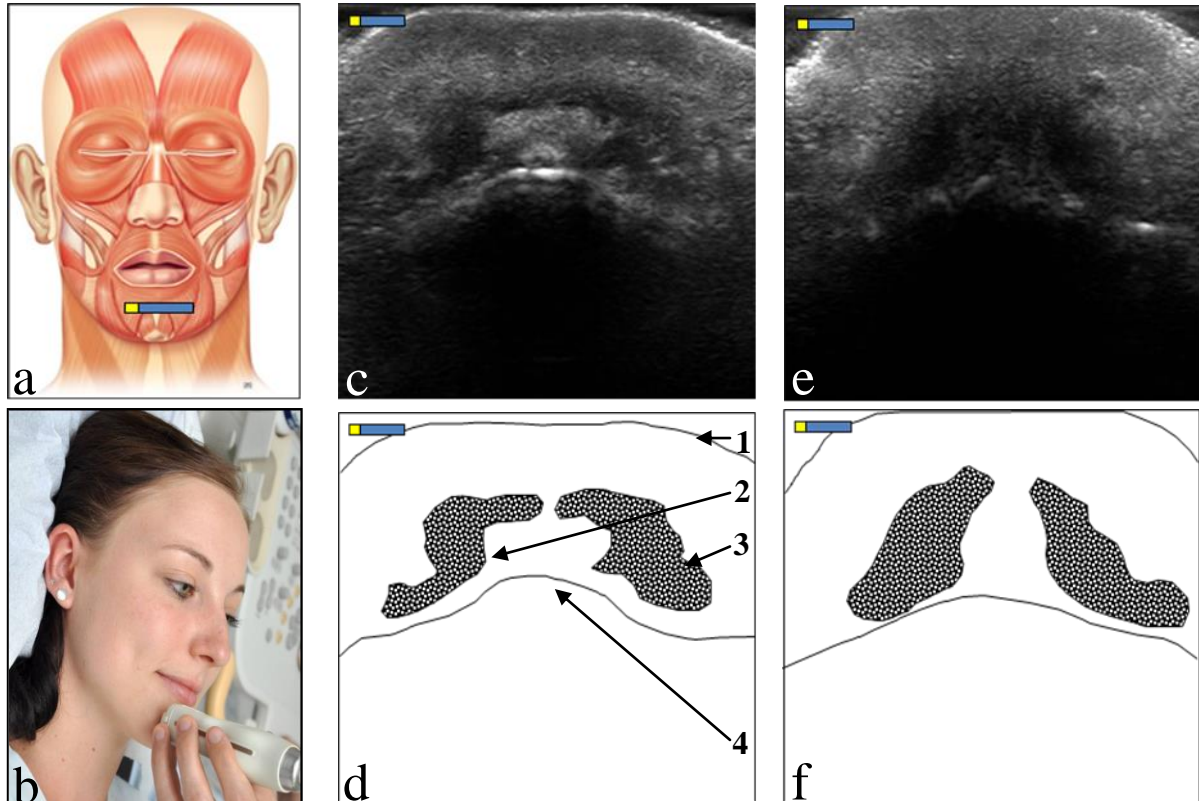


Abb. 7 a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über der Protuberantia mentalis b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch die Mm. mentales c sonographisches Bild der Mm. mentales in Ruhe d Schemabild der Mm. mentales in Ruhe 1 Hautoberfläche 2 M. mentalis rechts 3 M. mentalis links 4 Grenzecho der Mandibula e sonographisches Bild der Mm. mentales bei maximaler Kontraktion f Schemabild der Mm. mentales bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird in der Transversalebene, auf Höhe der Protuberantia mentalis senkrecht auf die Hautoberfläche aufgesetzt. Ausgehend von dieser Stellung wird der Schallkopf nun leicht parallel bis zur größten Ausdehnung der Mm. mentales verschoben. Währenddessen ist stets auf die senkrechte Stellung des Schallkopfes zur Hautoberfläche zu achten.

Leitstrukturen:

Als Leitstruktur dient das deutliche Grenzecho der Mandibula mit nachfolgendem Schallschatten. Die Mm. mentales stellen sich seitengleich und echoarm in der Subcutis dar. Zwischen den Muskeln befindet sich ein konstant nachweisbarer echoreicher und gut abgrenzbarer Fettkörper.

Anweisung:

„Lippen fest zusammen pressen“

Bewegungsphänomene:

Während der Kontraktion kommt es zu einer meist deutlichen Vergrößerung der Muskelumfänge sowie zur Zunahme der Echogenität. Bei starker Kontraktion kommt es z. T. zur Überlagerung der Mm. mentales beider Seiten. Der intermentale Fettkörper wird in diesem Fall in Richtung Corpus Mandibulae komprimiert. Mit steigendem Alter und BMI kann die Beurteilung der Muskelgrenzen z.T. deutlich erschwert sein.

Hinweise:

Die Bewegung fällt vielen Probanden besonders schwer. Vorheriges üben der Bewegung vor dem Spiegel sowie genaue Anweisungen und Korrekturen des Untersuchenden verbessern die Ergebnisse deutlich.

Fehlinterpretationen:

Steht der Schallkopf nicht senkrecht auf der Hautoberfläche, werden die Mm. mentales schräg angeschnitten. Aufgrund dessen werden die Muskeln größer beurteilt als sie es in Wirklichkeit sind.

7.7 M. orbicularis oris

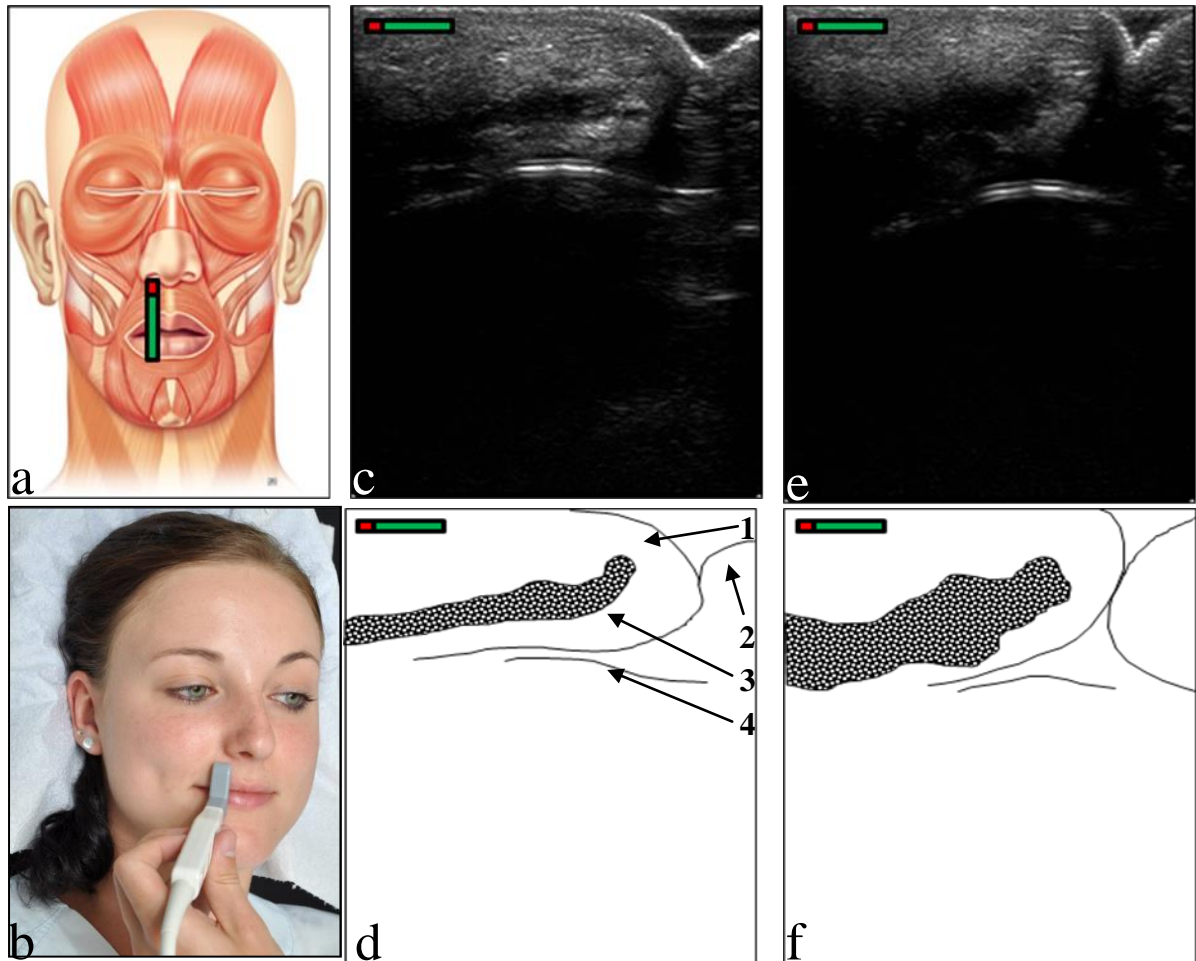


Abb. 8 a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. orbicularis oris b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. orbicularis oris c sonographisches Bild des M. orbicularis oris in Ruhe d Schemabild der M. orbicularis oris in Ruhe 1 Oberlippe 2 Unterlippe 3 M. orbicularis oris 4 Grenzecho des Dens incisivus e sonographisches Bild der M. orbicularis oris bei maximaler Kontraktion f Schemabild der M. orbicularis oris bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird parallel zur Medianlinie rechts bzw. links neben dem Philtrum auf Höhe des Nasenloches senkrecht auf die Hautoberfläche aufgesetzt.

Leitstrukturen:

Als Leitstruktur dient das kräftige Grenzecho des Dens incisivus. Der dicke, echoarme M. orbicularis oris, Pars sup. liegt in der echoreichen Subkutis der Lippe. Nach kaudal schließen sich die Lippenspalte sowie die Unterlippe an.

Anweisung:

„Die Lippen zunächst locker aufeinanderlegen und dann kräftig zusammen pressen“.

Bewegungsphänomene:

Das Zusammenpressen der Lippen führt zur Verdickung des M. orbicularis oris. Er folgt der Konvexität der Oberlippe. Die Unterlippe und der M. orbicularis oris, Pars inf. werden ebenfalls dargestellt.

Hinweise:

Um die Lippenkonturen auszugleichen sollte stets viel Gel verwendet werden. Bei Bartträgern sind die sonographischen Bilder aufgrund der vielen Artefakte meist nicht gut auszuwerten.

Fehlinterpretationen:

Keine.

7.8 M. depressor anguli oris / M. depressor labii inferioris

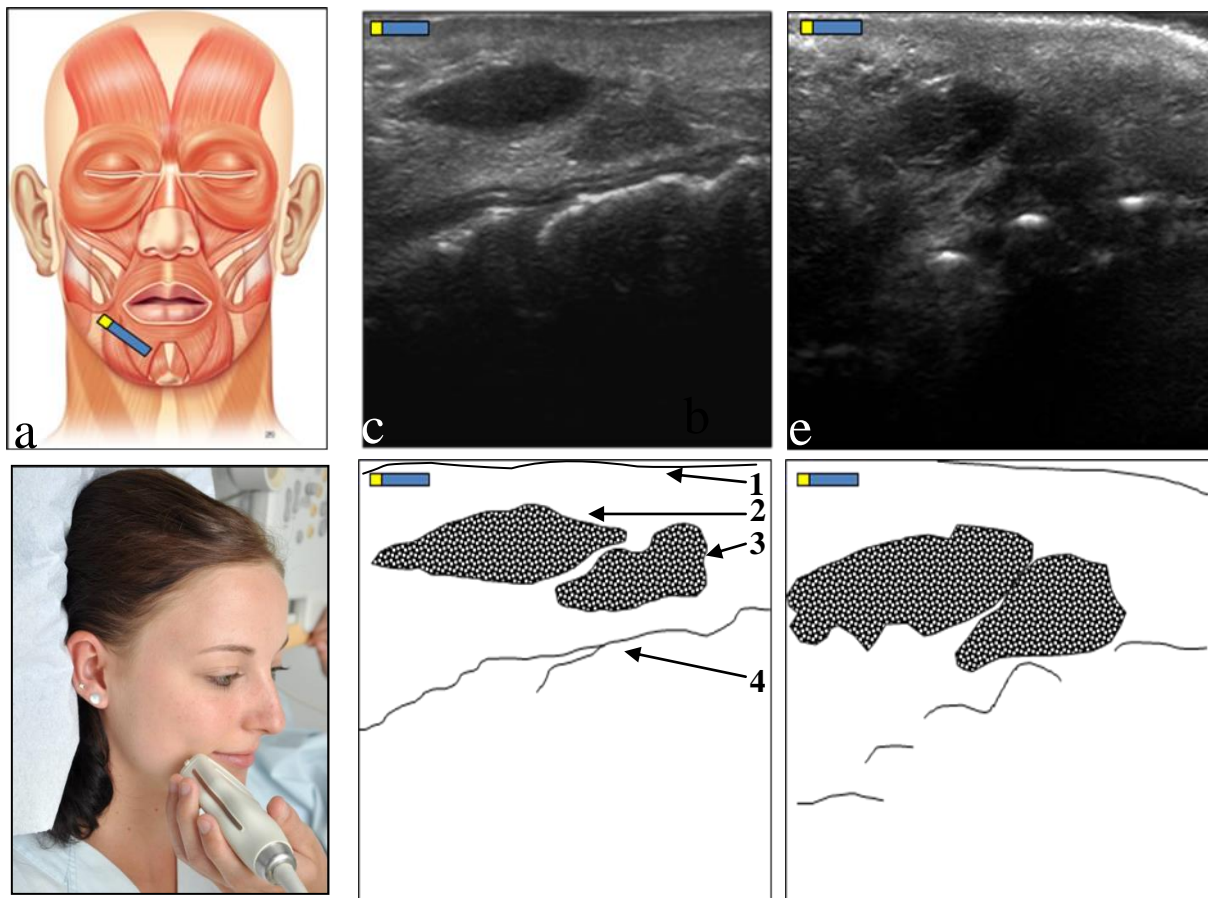


Abb. 9 a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris c sonographisches Bild des M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris in Ruhe d Schemabild des M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris in Ruhe 1 Hautoberfläche 2 M. depressor anguli oris 3 M. depressor labii inferioris 4 Grenzecho der Alveolarfortsätze e sonographisches Bild des M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris bei maximaler Kontraktion f Schemabild der M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird unterhalb des Mundwinkels parallel zur Basis mandibulae auf die Hautoberfläche aufgesetzt und anschließend bis zu den sonographisch leicht zu identifizierenden Alveolarfortsätzen nach kranial verschoben. Der Schallkopf steht nun in Bezug auf die „Frankfurter“ bzw. „Deutsche“ Horizontale etwa um 45° nach kaudal geneigt.

Leitstrukturen:

Als Leitstruktur dient das kräftige Grenzecho der Alveolarfortsätze. Der echoarme M. depressor anguli oris lässt sich leicht vom umgebenden Gewebe abgrenzen. Am lateralen Rand des Muskels pulsiert die A. facialis. Der M. depressor labii inferioris liegt medial des M. depressor anguli oris und erscheint gegenüber dem M. depressor anguli oris echoreicher.

Anweisung:

„Die Mundwinkel nach unten ziehen“

Bewegungsphänomene:

Bei Kontraktion erfolgt eine deutliche Verdickung und Medialverlagerung beider Zielmuskeln. Besonders deutlich ist dies beim M. depressor anguli oris ausgeprägt. Da es vielen Menschen schwer fällt die entsprechende Bewegung bewusst auszuführen, sollte zuvor ausreichend vor einem Spiegel geübt werden.

Hinweise:

Bei Menschen mit den dritten Zähnen sind die Alveolarfortsätze sonographisch häufig weniger gut zu identifizieren. In diesem Fall orientiert man sich beim Aufsuchen der richtigen Schallkopfstellung an der fast diagonalen Grenzecho Linie der Pars alveolaris mandibulae. Auch die am lateralen Rand des M. depressor anguli oris pulsierende A. facialis kann das Auffinden der Zielmuskeln erleichtern.

Fehlinterpretationen:

Abhängig von der Schallkopf Lage und dem Winkel der Schallebene zur Hautoberfläche können die Muskeln sonographisch zu klein oder groß erscheinen.

7.9 M. risorius

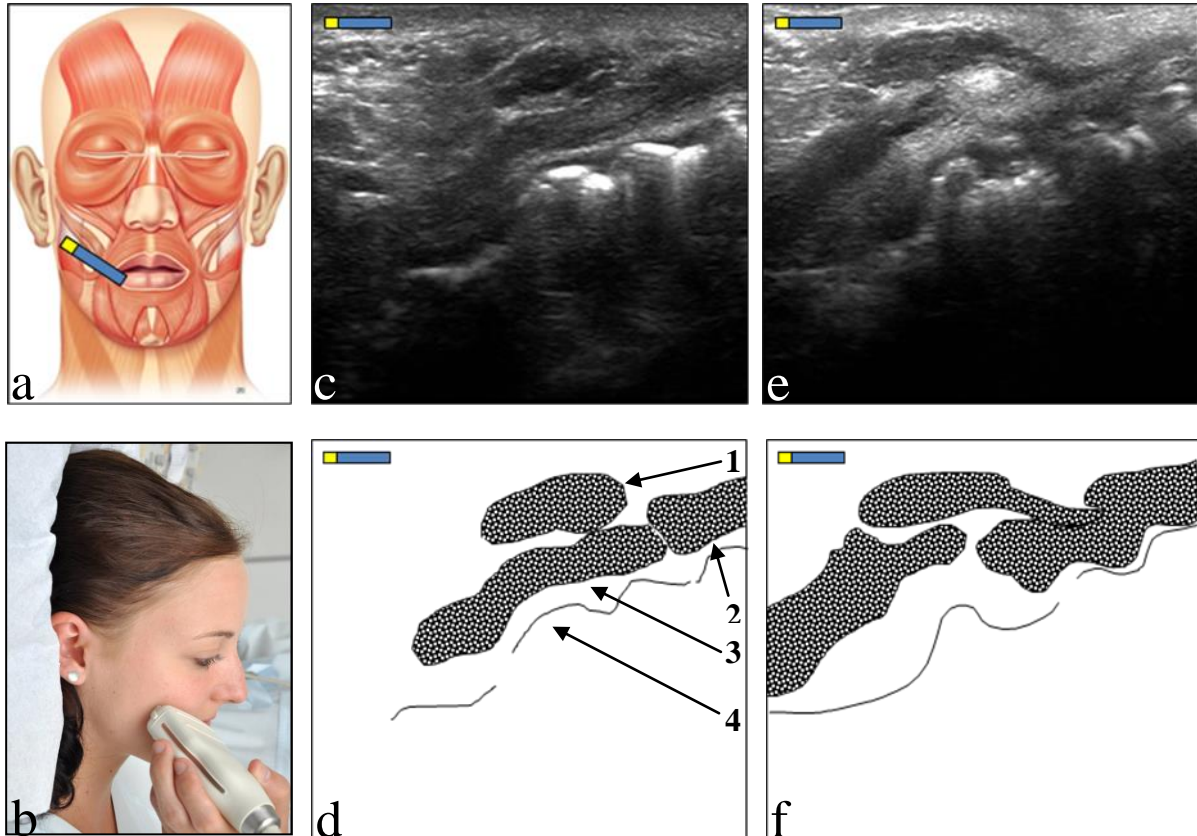


Abb. 10 a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. risorius b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. risorius c sonographisches Bild des M. risorius in Ruhe d Schemabild der M. risorius in Ruhe 1 M. depressor anguli oris 2 M. orbicularis oris 3 M. risorius 4 Grenzecho der Zähne des Unterkiefers e sonographisches Bild des M. risorius bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. risorius bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird lateral des jeweiligen Mundwinkels parallel zum Corpus mandibulae auf die Hautoberfläche aufgesetzt.

Leitstrukturen:

Als Leitstrukturen dienen der Anschnitt des M. orbicularis oris sowie das kräftige Grenzecho der Zähne des Unterkiefers. Nach medial hin sind die Querschnitte des M. depressor anguli oris sowie des M. depressor labii inferioris zu sehen. Der M. risorius stellt sich in Form mal mehr, mal weniger stark ausgeprägter Muskelfasern dar. Diese entspringen diffus an der Faszia des M. masseter und anderen muskulären sowie bindegewebigen Strukturen und inserieren in den M. orbicularis oris und in die Haut des medialen Mundwinkels. Der Faserverlauf und das Verhalten unter Kontraktion erleichtern die Identifikation.

Anweisung:

„lächeln“

Bewegungsphänomene:

Bei Kontraktion wird eine Verkürzung und Verdickung des Muskels sichtbar. Die Verdickung ist insbesondere im Übergangsbereich zum M. orbicularis oris stark ausgeprägt.

Hinweise:

Der Muskel kann aufgrund der z. T. sehr diffus verlaufenden Muskelfasern nicht immer eindeutig sonografisch dargestellt werden. Dies ist insbesondere bei älteren und adipösen Menschen der Fall.

Fehlinterpretationen:

Der Muskel ist aufgrund seiner sehr variablen Morphologie nicht in jedem Fall eindeutig identifizierbar. Er kann möglicherweise mit den Muskelfasern anderer in den Mundwinkel einstrahlender Muskeln verwechselt werden.

7.10 M. zygomaticus major

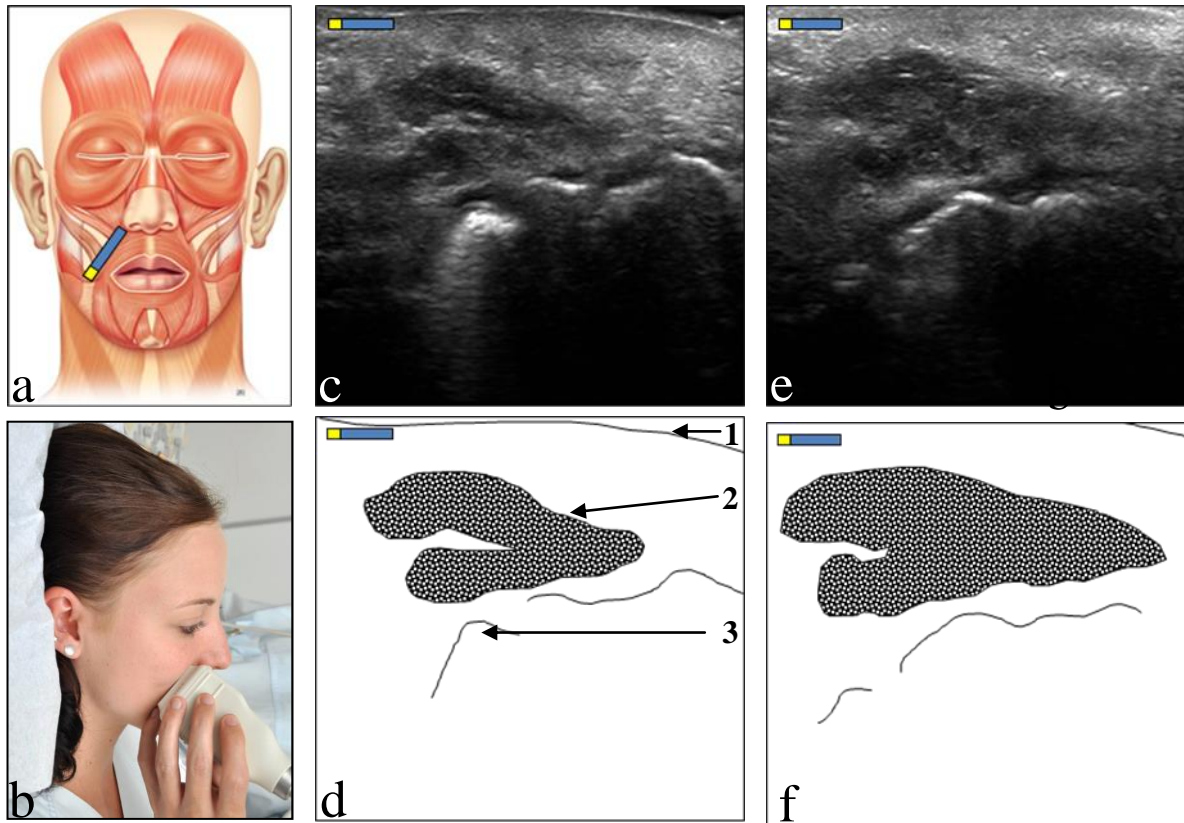


Abb. 11 **a** Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker in der Nasolabialfalte über dem M. zygomaticus major **b** Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. zygomaticus major **c** sonographisches Bild des M. zygomaticus major in Ruhe **d** Schemabild des M. zygomaticus major in Ruhe **1** Hautoberfläche **2** M. zygomaticus major **3** Grenzechos des Caninus **e** sonographisches Bild des M. zygomaticus major bei maximaler Kontraktion **f** Schemabild des M. zygomaticus major bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird zunächst genau senkrecht zur Hautoberfläche auf die Nasolabialfalte gestellt. Nach Identifikation des Grenzechos der Maxilla wird der Schallkopf parallel zur Nasolabialfalte um wenige Millimeter nach kranial verschoben. Der Querschnitt des echoarmen M. zygomaticus major stellt sich in der echoreichen Subcutis meist „herzförmig“ dar.

Leitstrukturen:

Als Leitstrukturen dienen die kräftigen Grenzechos der Zähne des Oberkiefers. Im sonographischen Bild befindet sich der M. zygomaticus major meist direkt oberhalb des kräftigen Grenzechos des Caninus.

Anweisung:

„lächeln“ (langsam)

Bewegungsphänomene:

Die Kontraktion des M. zygomaticus major ist in diesem Schnitt meist deutlich ausgeprägt. Während der Bewegung muss der Untersucher weiterhin auf die korrekte Schallkopfstellung achten. Dies ist durch die während des Lächelns aufgeworfenen Lachfalten nicht immer einfach.

Hinweise:

Es ist darauf zu achten, dass der zu Untersuchende die Bewegung langsam ausführt. Andernfalls kann es aufgrund von Lachfalten zum Verrutschen des Schallkopfes kommen. Sollte der Muskel im Querschnitt einmal schwer aufzufinden sein, kann er zunächst im Längsschnitt zwischen seinem Ursprung am Os zygomaticum ventral der Sutura temporozygomatica und dem Mundwinkel aufgesucht werden. Nach sicherer Identifikation im Längsschnitt wird der Schallkopf zur Darstellung des Muskelquerschnittes in die Nasolabialfalte um 90 Grad drehen.

Fehlinterpretationen:

Wird der Schallkopf medial der Nasolabialfalte aufgesetzt, kann es zu Überlagerungen mit anderen in die Mundwinkelregion inserierenden Muskelfasern kommen.

7.11 M. zygomaticus minor

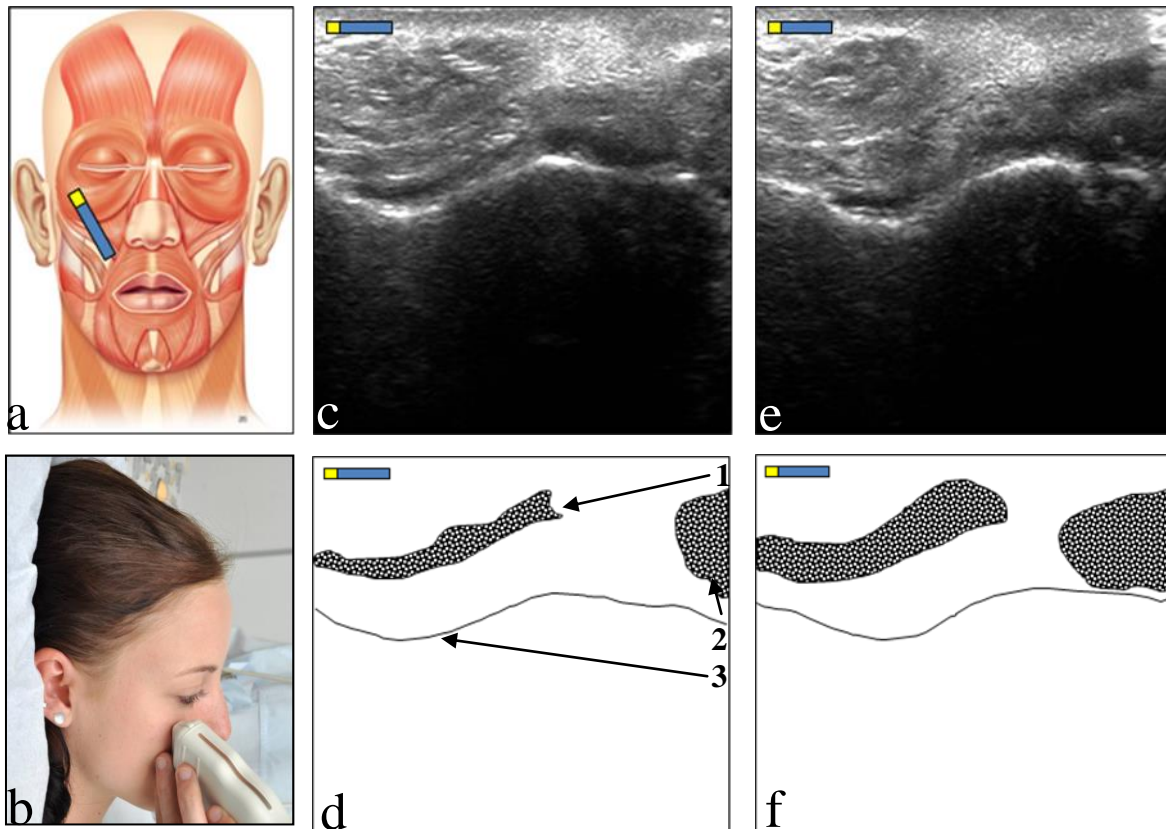


Abb. 12 **a** Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. zygomaticus minor **b** Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. zygomaticus minor **c** sonographisches Bild des M. zygomaticus minor in Ruhe **d** Schemabild des M. zygomaticus minor in Ruhe **1** M. zygomaticus minor **2** M. orbicularis oris **3** Grenzechos des lateralen Orbitarandes **e** sonographisches Bild des M. zygomaticus minor bei maximaler Kontraktion **f** Schemabild des M. zygomaticus minor bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird senkrecht zur Hautoberfläche zwischen dem Mundwinkel und dem lateralen Orbitarand aufgesetzt. Um den M. zygomaticus minor eindeutig zu identifizieren sollte er Schallkopf ausgehend von dieser Stellung wenige Millimeter parallel nach oben bzw. unten verschoben werden. Der Muskel stellt sich, wenn vorhanden, meist recht echoreich dar und muss daher anhand des Faserverlaufes und Verhaltens unter Kontraktion identifiziert werden.

Leitstrukturen:

Grenzecho des lateralen Orbitarandes sowie der echoarme Anschnitt des M. orbicularis oris.

Bewegungsphänomene:

Verkürzung und Abnahme der Echogenität während der Kontraktion

Anweisung:

„lächeln“

Hinweise:

In der Praxis hat sich auch das Aufsuchen ausgehend vom Längsschnitt des M. zygomaticus major als günstig erwiesen. Hierbei muss der Schallkopf lediglich langsam immer weiter nach medial verschoben werden. Ausgehend vom M. zygomaticus major folgt sodann der M. zygomaticus minor, dann der M. levator labii superioris und schließlich der M. levator labii superioris alaeque nasi.

Fehlinterpretationen:

Steht der Schallkopf zu weit nach medial geneigt, kann der M. zygomaticus minor mit dem M. levator labii superioris verwechselt werden.

7.12 M. levator labii superioris

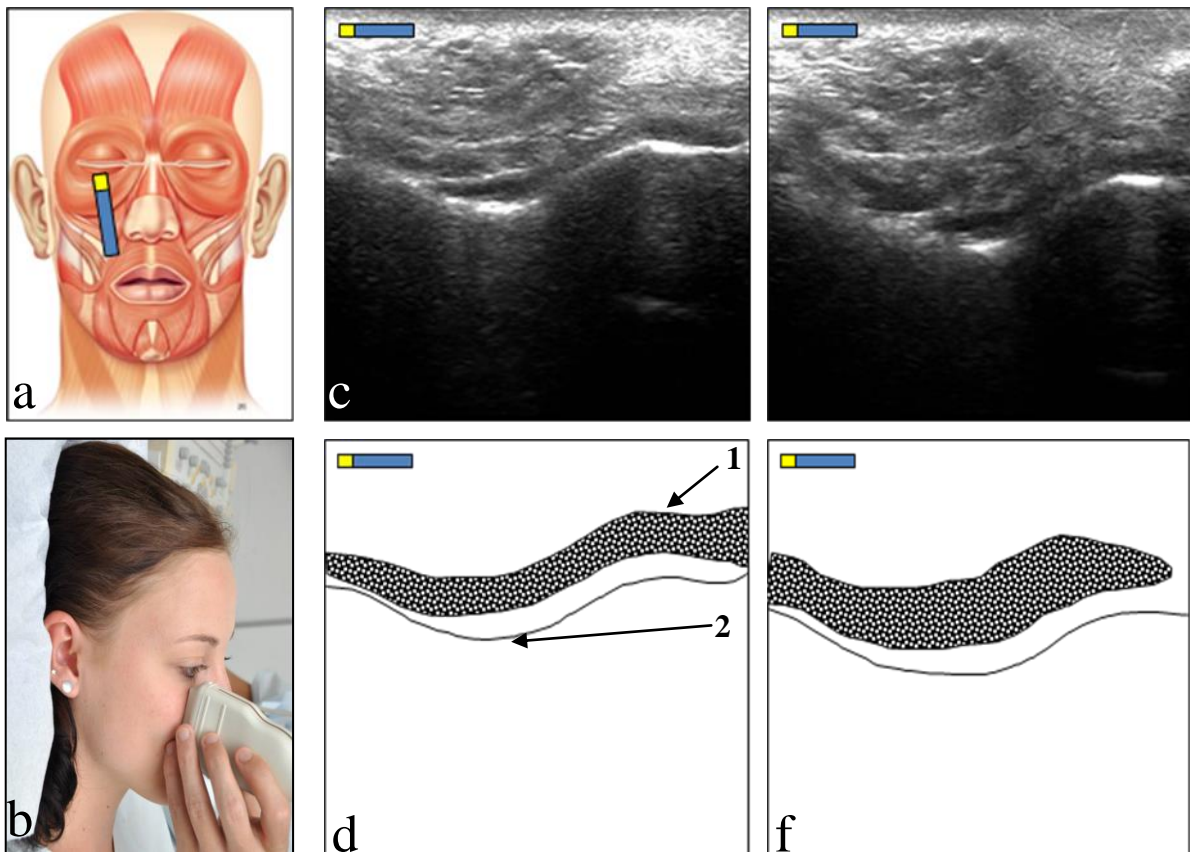


Abb. 13 a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. levator labii superioris b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. levator labii superioris c sonographisches Bild des M. levator labii superioris in Ruhe d Schemabild des M. levator labii superioris in Ruhe 1 M. levator labii superioris 2 Grenzecho des Orbitarandes und des Maxilla e sonographisches Bild des M. levator labii superioris bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. levator labii superioris bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird senkrecht zur Hautoberfläche zwischen dem Mundwinkel und dem mittleren Orbitarand auf Höhe der Pupille aufgesetzt. Ausgehend von dieser Stellung aus sollte der Schallkopf wie beim Auffinden des M. zygomaticus minor um wenige Millimeter parallel nach oben bzw. unten verschoben werden. Der Muskel stellt sich meist echoreich dar, kann aber anhand seines Faserverlaufes und Verhaltens unter Kontraktion identifiziert werden.

Leitstrukturen:

Als Leitstruktur dienen das Grenzecho des Orbitarandes sowie der echoarme Anschnitt des M. orbicularis oris. Oberflächlich kreuzen die Fasern des M. zygomaticus minor.

Anweisung:

„obere Schneidezähne zeigen“

Bewegungsphänomene:

Unter der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verkürzung, Verdickung und Abnahme der Echogenität.

Hinweise:

In der Praxis hat sich auch das Aufsuchen ausgehend vom Längsschnitt des M. zygomaticus major als günstig erwiesen. Hierbei muss der Schallkopf lediglich langsam immer weiter nach medial verschoben werden. Ausgehend vom M. zygomaticus major folgt sodann der M. zygomaticus minor, dann M. levator labii superioris und schließlich der M. levator labii superioris alaeque nasi.

Fehlinterpretationen:

Der Muskel verläuft sonographisch unter dem M. zygomaticus minor und liegt lateral des M. levator labii superioris alaeque nasi.

7.13 M. levator labii superioris alaeque nasi

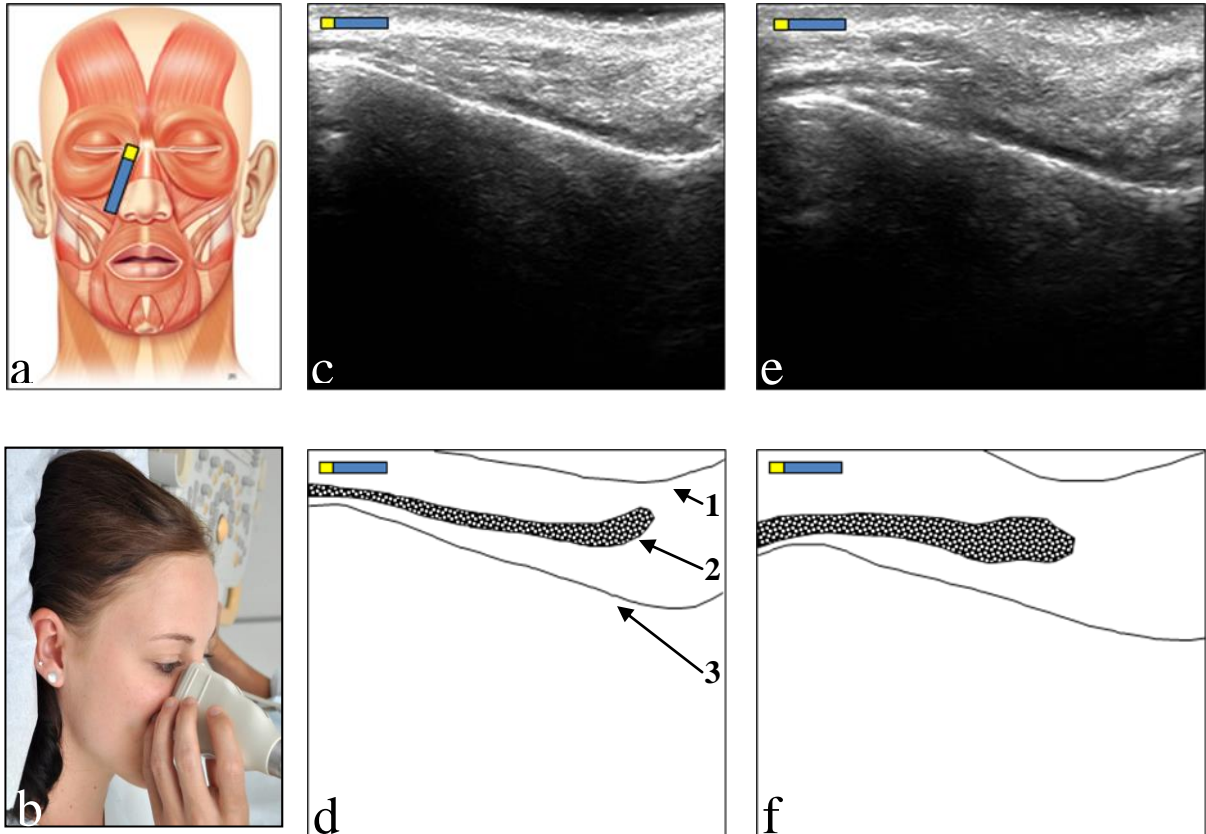


Abb. 14 **a** Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. levator labii superioris alaeque nasi **b** Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. levator labii superioris alaeque nasi in Ruhe **c** sonographisches Bild des M. levator labii superioris alaeque nasi in Ruhe **d** Schemabild des M. levator labii superioris alaeque nasi in Ruhe **1** Hautoberfläche **2** M. levator labii superioris alaeque nasi **3** Grenzecho des Orbitarandes sowie des Proc. frontalis der Maxilla **e** sonographisches Bild des M. levator labii superioris alaeque nasi bei maximaler Kontraktion **f** Schemabild des M. levator labii superioris alaeque nasi bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird senkrecht zur Hautoberfläche zwischen der Commissura medialis palpebralis und dem Mundwinkel aufgesetzt. Der Muskellängsschnitt liegt zwischen dem M. nasalis und dem M. levator labii superioris.

Leitstrukturen:

Als Leitstrukturen dient die Grenzechos des medialen Orbitarandes und des Caninus.

Anweisung:

„obere Schneidezähne zeigen“

Bewegungsphänomene:

Während der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verkürzung, Verdickung und Abnahme der Echogenität.

Hinweise:

In der Praxis hat sich auch das Aufsuchen ausgehend vom Längsschnitt des M. zygomaticus major als günstig erwiesen. Hierbei muss der Schallkopf lediglich langsam immer weiter nach medial verschoben werden. Ausgehend vom M. zygomaticus major folgt sodann der M. zygomaticus minor, dann M. levator labii superioris und schließlich der M. levator labii superioris alaeque nasi.

Fehlinterpretationen:

Bei zu lateraler Schallkopfstellung kann es zu Verwechslungen mit dem M. levator labii superioris kommen.

7.14 M. buccinator

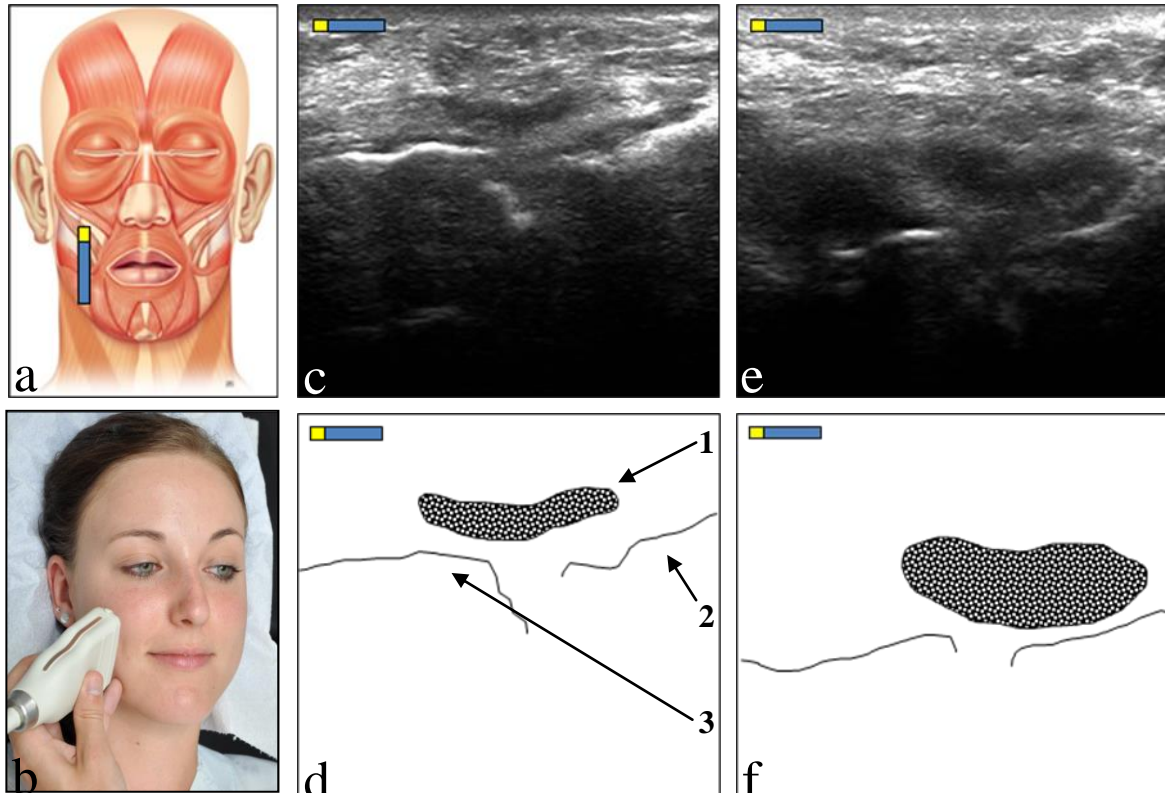


Abb. 15 a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. buccinator b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. buccinator c sonographisches Bild des M. buccinator in Ruhe d Schemabild des M. buccinator in Ruhe 1 M. buccinator 2 Grenzecho des unteren zweiten Molar 3 Grenzecho des oberen zweiten Molar e sonographisches Bild des M. buccinator bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. buccinator bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird senkrecht zur Hautoberfläche auf die Wange, etwa auf Höhe der zweiten Molaren, aufgesetzt.

Leitstrukturen:

Als Leitstrukturen dienen die deutliche sichtbaren Grenzechos des oberen und unteren Molaren.

Anweisung:

„lächeln und Wangen nach innen ziehen“

Bewegungsphänomene:

Unter der Kontraktion kommt es zu einer deutlichen Verdickung und Abnahme der Echogenität.

Hinweise:

Zum Auffinden des Muskels kann es hilfreich sein, den Schallkopf ausgehend vom M. orbicularis oris in Richtung M. masseter zu verschieben. Der Muskel liegt nahe der Mundschleimhaut und ist durch seinen Verlauf und sein Verhalten unter der Kontraktion eindeutig identifizierbar.

Fehlinterpretationen:

Bei korrekter Schallkopflage ist die Identifikation eindeutig. Bei einer Schallkopflage zu nahe am Mundwinkel kann es zu Verwechslungen mit den Muskelfasern der hier inserierenden Muskeln kommen.

8. Sonographie Schnitte der Kaumuskulatur

8.1 M. temporalis

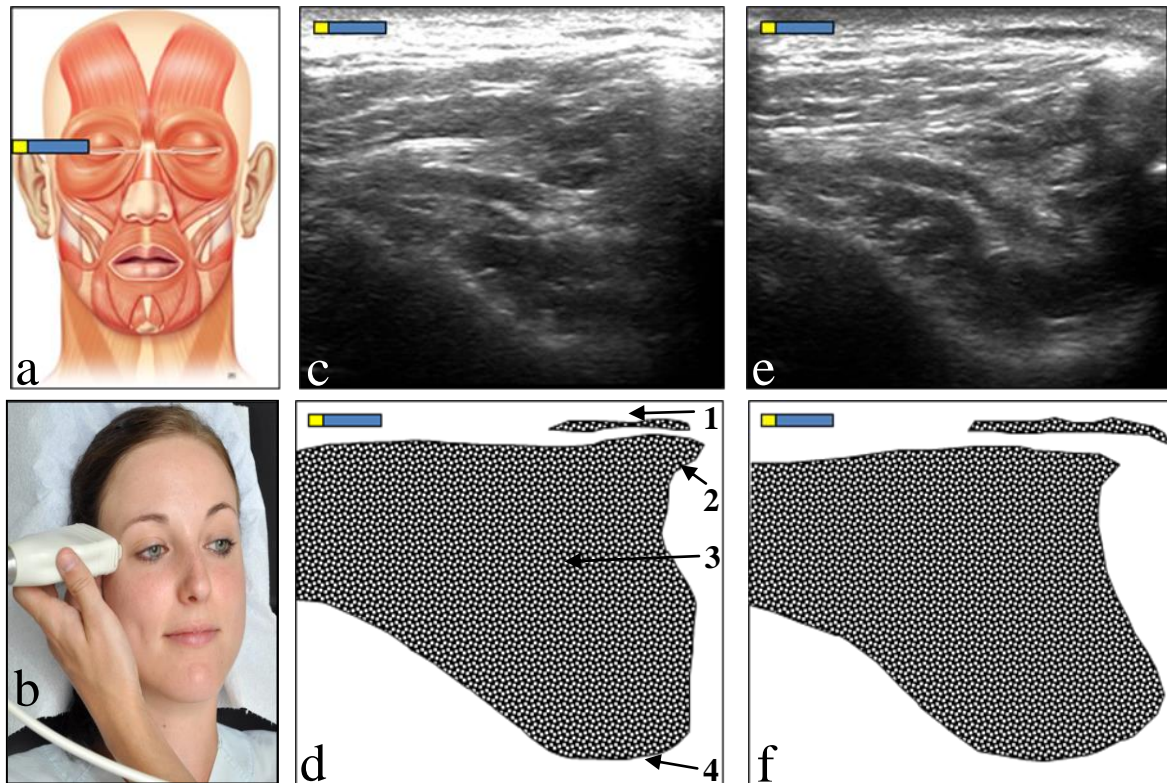


Abb. 16 a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. temporalis b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. temporalis c sonographisches Bild des M. temporalis in Ruhe d Schemabild des M. temporalis in Ruhe 1 Anschnitt des M. orbicularis oculi 2 Grenzecho des lateralen Orbitarandes 3 M. temporalis 4 Grenzecho der Ala major des Os sphenoidale e sonographisches Bild des M. temporalis bei maximaler Kontraktion f Schemabild des M. temporalis bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird in der Pupillenebene senkrecht zur Hautoberfläche auf die Schläfe aufgesetzt.

Leitstrukturen:

Die wichtigste Leitstruktur in diesem Schnitt ist der echoreiche knöcherne Orbitarand. Weiterhin ist am Grund der Fossa infratemporalis ist das Grenzecho der Ala major des Os sphenoidale und lateral das Grenzecho der Squama ossis temporale deutlich zu erkennen.

Anweisung:

„Kräftiges Zusammenbeißen der Zähne“.

Bewegungsphänomene:

Beim Zusammenbeißen der Zähne ist die Kontraktion des Muskels deutlich zu sehen. Meist kontrahiert jedoch nicht der gesamte, mit vielen Faszien durchzogene Muskel sondern vielmehr nur ein Teil des Muskels.

Hinweise:

Von der oben genannten Grundstellung ausgehend wird der Schallkopf sodann leicht parallel zur Pupillenebene nach kaudal oder kranial verschoben. Auf diese Weise kann leicht die größte Ausdehnung des Muskels aufgesucht werden. Es ist auch hier wieder darauf zu achten, dass der Schallkopf senkrecht zur Hautoberfläche aufgesetzt wird. Andernfalls wird der Muskel schräg angeschnitten und die Größe falsch bestimmt.

Fehlinterpretationen:

Keine

8.2 M. masseter

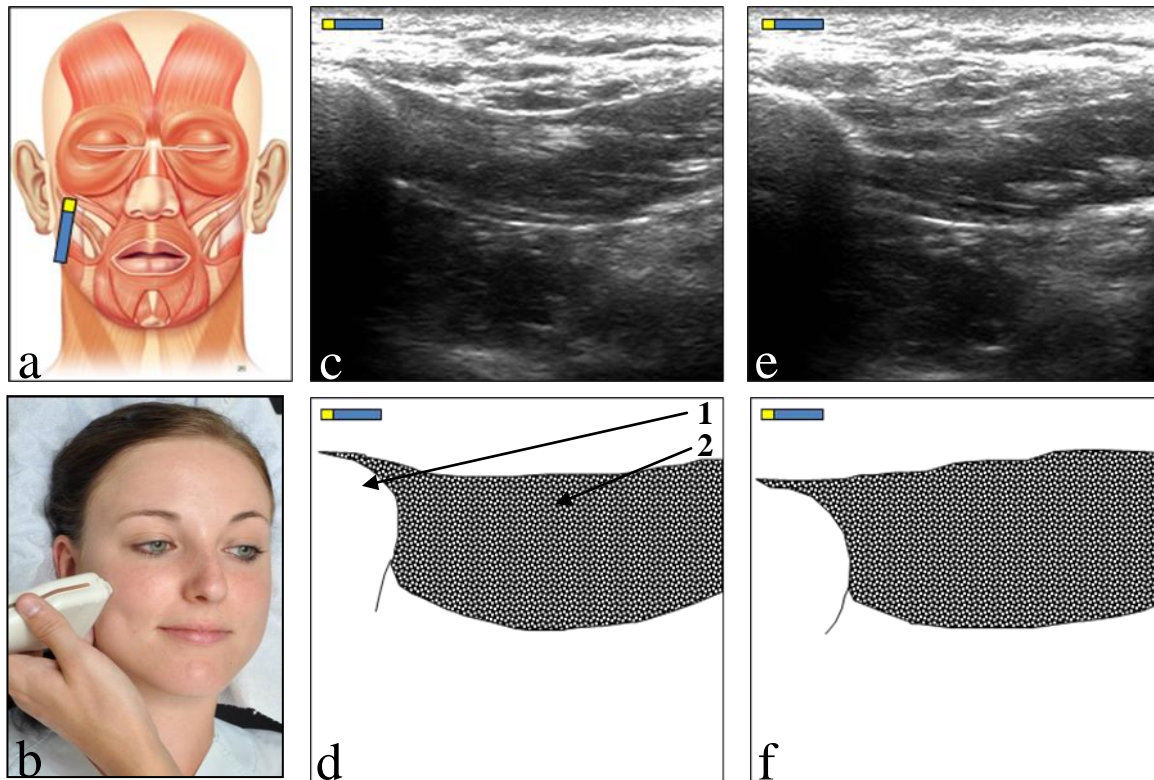


Abb. 17 **a** Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. masseter **b** Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. masseter **c** sonographisches Bild des M. masseter in Ruhe **d** Schemabild des M. masseter in Ruhe **1** Grenzecho der Facies lateralis des Os zygomaticum **2** M. masseter **e** sonographisches Bild des M. masseter bei maximaler Kontraktion **f** Schemabild des M. masseter bei maximaler Kontraktion

Lage des Schallkopfes :

Der Schallkopf wird zwischen dem medialen Drittel des Arcus zygomaticus (Facies lateralis des Os zygomaticum) und dem Angulus mandibulae senkrecht auf die Hautoberfläche aufzusetzen. Die Facies lateralis des Os zygomaticum sowie die an ihm entspringenden echoarmen Muskelfasern des M. masseter, Pars superficialis und Pars profunda stellen sich sonographisch deutlich dar.

Leitstrukturen:

Als Leitstrukturen dienen das meist kräftige Grenzecho der Facies lateralis des Os zygomaticum sowie der Faserverlauf des M. masseter.

Anweisung:

„kräftiges Zusammenbeißen der Zähne“.

Bewegungsphänomene:

Beim kräftigen Zusammenbeißen der Zähne ist eine deutliche Kontraktion des M. masseter zu beobachten. Diese ist im größeren Pars profunda meist am stärksten ausgeprägt.

Hinweise:

Der Muskel ist meist sehr leicht aufzufinden. Um den größten Durchmesser zu finden sollte der Schallkopf ausgehend von der oben beschriebenen Grundstellung leicht parallel über den Muskel verschoben werden.

Fehlinterpretationen:

Keine.

9. Powerdoppler – Sonographie der Gesichtsarterien

9.1 A. facialis

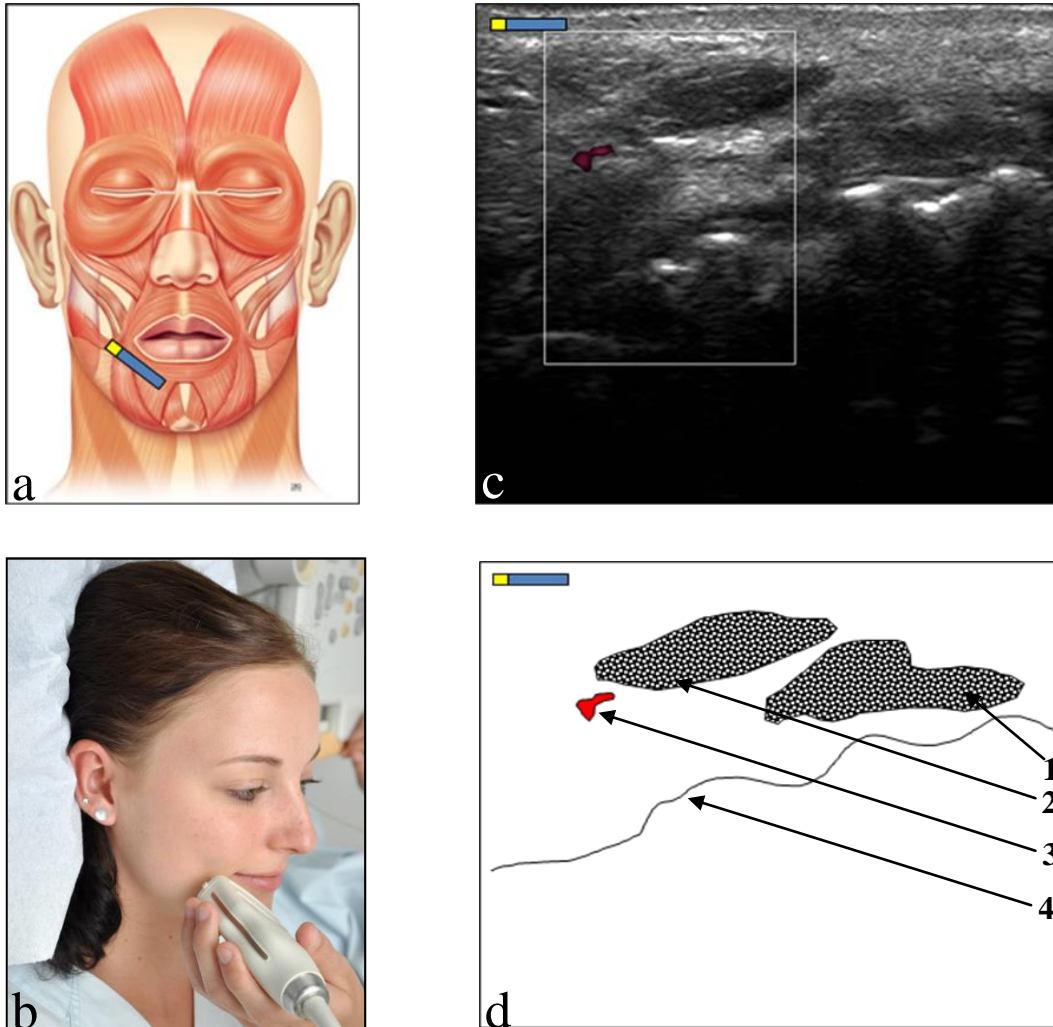


Abb. 18 **a** Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris **b** Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris **c** sonographisches Bild des M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris in Ruhe, am lateralen Rand des M. depressor anguli oris befindet sich die A. facialis **d** Schemabild des M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris in Ruhe, am lateralen Rand des M. depressor anguli oris befindet sich die A. facialis **1** M. depressor labii inferioris **2** M. depressor labii inferioris **3** A. facialis **4** Grenzecho der Alveolarfortsätze

Lage des Schallkopfes:

Die Schallkopflage ist mit der Position wie beim Auffinden des M. depressor anguli oris und M. depressor labii inferioris identisch. Der Schallkopf wird unterhalb des Mundwinkels parallel zur Basis mandibulae auf die Hautoberfläche aufgesetzt und anschließend bis zu den sonographisch leicht zu identifizierenden Alveolarfortsätzen nach kranial verschoben. Der Schallkopf steht nun in Bezug auf die „Frankfurter“ bzw. „Deutsche“ Horizontale etwa um 45° nach kaudal geneigt.

Leitstrukturen:

Als Leitstruktur dient das kräftige Grenzecho der Alveolarfortsätze. Der echoarme M. depressor anguli oris lässt sich leicht vom umgebenden Gewebe abgrenzen. Am lateralen Rand des Muskels pulsiert die A. facialis. Der M. depressor labii inferioris liegt medial des M. depressor anguli oris und erscheint gegenüber dem M. depressor anguli oris echoreicher.

Hinweise:

Nach Auffinden der korrekten Schallkopfposition kann die A. facialis meist leicht am lateralen Rand des M. depressor anguli oris identifiziert werden. Um die Kompression des Gefäßes zu vermeiden ist darauf zu achten, dass der Schallkopf nur sehr sanft aufgesetzt wird. Manchmal kommt es vor, dass die A. facialis in viele kleine Äste aufgespalten. Ist dies der Fall sollte der Schallkopf ausgehend von der oben genannten Grundstellung leicht nach kaudal bewegt werden. Hier ist dann meist ein größerer Hauptast zu finden.

Fehlinterpretationen:

Abhängig von der Schallkopflage und dem Winkel der Schallebene zur Hautoberfläche kann die Arterie schräg angeschnitten sein. Durch leichtes Schwenken des Schallkopfes kann ein gerader Gefäßanschnitt erreicht werden.

9.2 A. temporalis profunda anterior

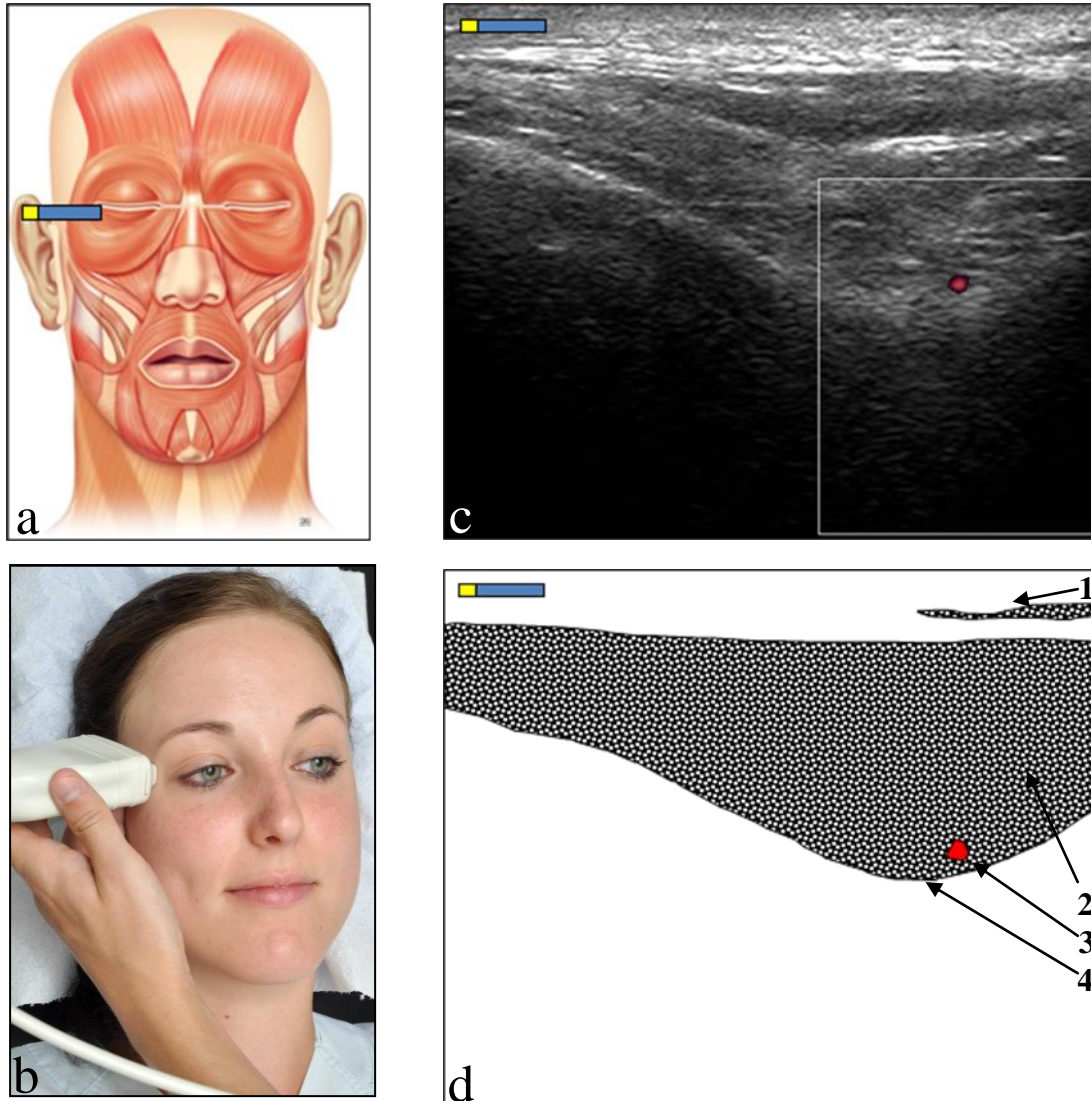


Abb. 19 a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. temporalis b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. temporalis c sonographisches Bild des M. temporalis in Ruhe mit der A. temporalis profunda anterior am Grund der Fossa infratemporalis d Schemabild des M. temporalis in Ruhe mit der A. temporalis profunda anterior am Grund der Fossa infratemporalis 1 M. orbicularis oculi 2 M. temporalis 3 A. temporalis profunda anterior 4 Grenzecho der Ala major des Os sphenoidale

Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird in der Pupillenebene senkrecht zur Hautoberfläche auf die Schläfe aufgesetzt.

Leitstrukturen:

Die wichtigste Leitstruktur in diesem Schnitt ist der echoreiche knöcherne Orbitalrand. Weiterhin ist am Grund der Fossa infratemporalis ist das Grenzecho der Ala major des Os sphenoidale und lateral das Grenzecho der Squama ossis temporale deutlich zu erkennen. Knapp oberhalb dieses Grenzechos befindet sich am Boden der Fossa infratemporalis die A. temporalis profunda anterior, ein Ast der A. maxillaris.

Hinweise:

Die Zielarterie darf nicht mit der weiter lateral verlaufenden A. temporalis profunda posterior verwechselt werden. Um einen geeigneten Gefäßanschnitt aufzufinden, kann es hilfreich sein den Schallkopf ausgehend von der oben beschriebenen Grundstellung leicht nach kaudal oder kranial zu schwenken. Weiterhin sollte der Schallkopf auch hier nur mit möglichst wenig Druck aufgesetzt werden. Andernfalls kann es zur Kompression des Gefäßes mit entsprechender Verfälschung der Messergebnisse kommen.

Fehlinterpretationen:

Beim Aufsuchen der A. temporalis profunda anterior sollten zunächst auch alle übrigen Gefäße im Schnitt identifiziert werden. So können Verwechslungen ausgeschlossen werden. Abhängig von der Schallkopflage und dem Winkel der Schallebene zur Hautoberfläche kann die Arterie schräg angeschnitten sein. Durch leichtes Schwenken des Schallkopfes kann ein gerader Gefäßanschnitt erreicht werden.

9.3 A. labialis superior

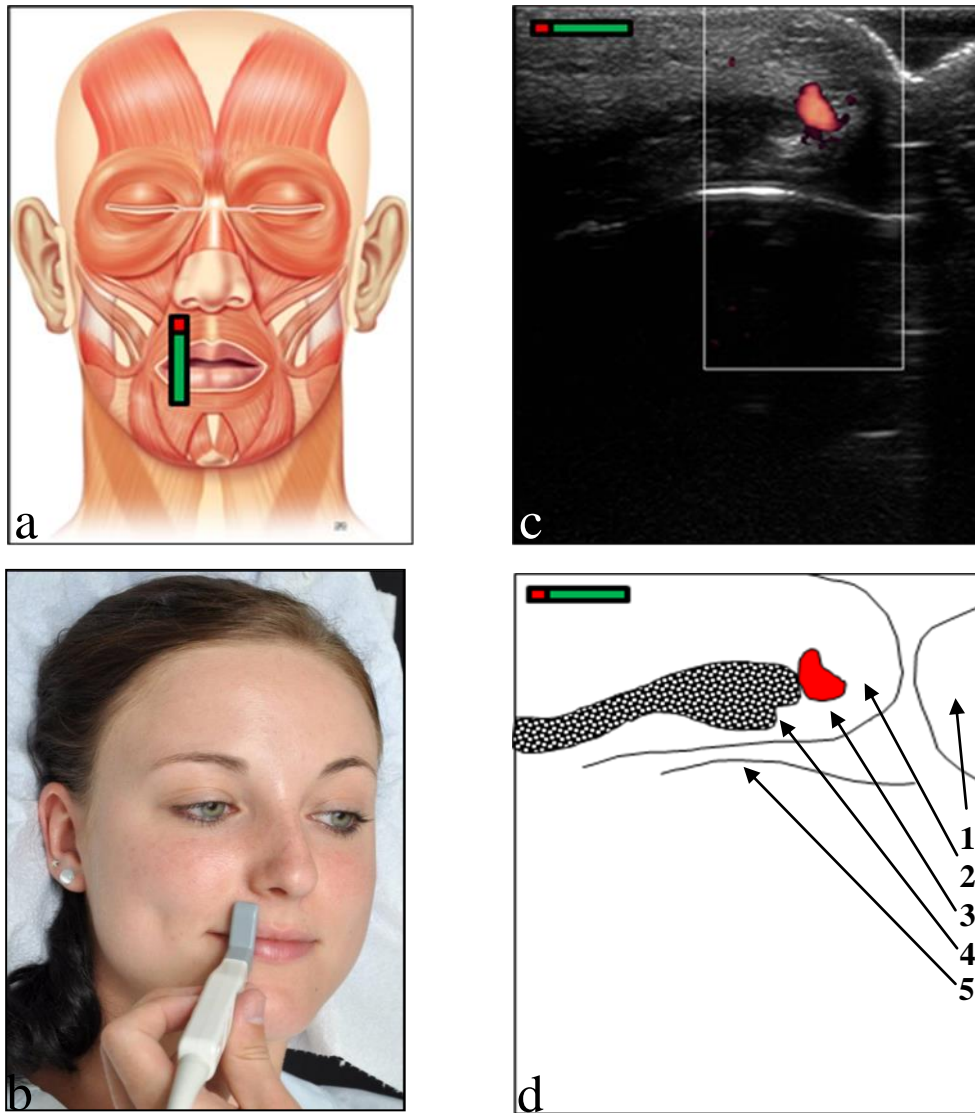


Abb. 20 a Schemabild der mimischen Muskulatur mit dem Marker über dem M. orbicularis oris b Foto, Schallkopfhaltung beim Schnitt durch den M. orbicularis oris c sonographisches Bild des M. orbicularis oris in Ruhe mit der A. labialis superior d Schemabild des M. orbicularis oris in Ruhe mit der A. labialis superior 1 Unterlippe 2 Oberlippe 3 A. labialis superior 4 M. orbicularis oris 5 Grenzecho des Dens incisivus

Lage des Schallkopfes:

Der Schallkopf wird parallel zur Medianlinie rechts bzw. links neben dem Philtrum auf Höhe des Nasenloches senkrecht auf die Hautoberfläche aufgesetzt.

Leitstrukturen:

Als Leitstruktur dient das kräftige Grenzecho des Dens incisivus. Der dicke, echoarme M. orbicularis oris, Pars sup. liegt in der echoreichen Subkutis der Lippe. Nach kaudal schließen sich die Lippenspalte sowie die Unterlippe an.

Hinweise:

Die A. labialis superior weist meist einen geschlängelten Verlauf durch die Oberlippe auf. Um einen geraden Gefäßanschnitt zu erreichen kann es hilfreich sein den Schallkopf um wenige Millimeter nach links oder rechts zu verschieben. Bei Bartträgern sind die Messergebnisse aufgrund der vielen Artefakte meist nicht zu verwerten.

Fehlinterpretationen:

Keine.